

(19) BUNDESREPUBLIK

DEUTSCHLAND



DEUTSCHES

PATENT- UND

MARKENAMT

# Offenlegungsschritt

(10) DE 100 39 169 A 1

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>:

F 02 M 59/44

C 23 C 14/06

C 23 C 28/00

(21) Unionspriorität:

11-228251 12. 08. 1999 JP

(22) Anmelder:

Hitachi, Ltd., Tokio/Tokyo, JP

(24) Vertreter:

Beetz und Kollegen, 80538 München

(72) Erfinder:

Yamaguchi, Shizuka, Hitachinaka, JP; Baba, Noboru, Hitachiota, JP; Terakado, Katsuyoshi, Ibaraki, JP; Kagiyama, Arata, Ibaraki, JP; Machimura, Hideki, Hitachinaka, JP; Takahashi, Yukio, Hitachinaka, JP; Ono, Yoshinobu, Yokohama, JP; Ojima, Kazuo, Hitachinaka, JP; Kotaki, Masayoshi, Hitachinaka, JP; Yamada, Hiroyuki, Hitachinaka, JP; Saito, Atsuji, Hitachinaka, JP

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

(54) Kraftstoffpumpe, Brennkraftmaschine mit Direkteinspritzung, die diese Kraftstoffpumpe verwendet, und Oberflächenbehandlungsverfahren

(57) In einer Kraftstoffpumpe, die Kraftstoff unter Druck setzt und an ein Kraftstoffeinspritzventil eines Fahrzeugmotors fördert, sind auf einer der Gleitflächen, die miteinander in Kontakt kommen und in Kraftstoff gleiten, eine gehärtete Schicht aus wenigstens einer Schicht, die aus einer nitrierten Schicht, einer karburierten und abgeschreckten Schicht oder einer karbonitrierten Schicht ausgewählt wird, und eine auf einer Oberfläche der gehärteten Schicht ausgebildete Metallverbindungsschicht, die eine höhere Korrosionsbeständigkeit gegen den Kraftstoff als die gehärtete Schicht besitzt, ausgebildet.

DE 100 39 169 A 1

DE 100 39 169 A 1

BEST AVAILABLE COPY

## Beschreibung

## HINTERGRUND DER ERFINDUNG

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf eine Kraftstoffpumpe zur Versorgung einer Brennkraftmaschine mit Kraftstoff und insbesondere auf eine Kraftstoffpumpe als Hochdruckpumpe einer Kraftstoffeinspritzeinrichtung für einen Fahrzeugmotor mit Direkteinspritzung, die über ein an der Brennkammer des Fahrzeugmotors angebrachtes Einspritzventil Kraftstoff direkt in eine Brennkammer einspritzt, einen Motor mit Direkteinspritzung, der die Kraftstoffpumpe verwendet, und ein Oberflächenbehandlungsverfahren für die Kraftstoffpumpe.

In den letzten Jahren wurde verlangt, bei Brennkraftmaschinen, insbesondere bei Benzinmotoren für Fahrzeuge, Kraftstoff-Direkteinspritzanlagen einzuführen, um die Kraftstoffverbrauchskennwerte zu verbessern, die Emission schädlicher Abgase zu verringern, den Wirkungsgrad wie etwa die Beschleunigungskennlinie zu verbessern usw.

Da bei der Kraftstoff-Direkteinspritzanlage das Benzin auch während des Verdichtungshubs direkt in den Zylinder einer Brennkraftmaschine eingespritzt werden muß, ist eine Hochdruck-Kraftstoffpumpe erforderlich, die unter einem hohen Druck von 3 MPa oder mehr Benzin zuführen kann.

Unter den Hochdruck-Kraftstoffpumpen gibt es die Pumpe mit Taumelscheibe und axialem Tauchkolben des Typs, bei dem in einem Gehäuse die Rotation einer durch eine Welle angetriebene Taumelscheibe durch eine Pendelscheibe in eine Pendelbewegung umgewandelt wird und Fluid angesaugt, unter Druck gesetzt und durch einen Tauchkolben, der sich durch die Pendelbewegung der Pendelscheibe hin und her bewegt, bei hohem Druck gefördert wird.

Dieser Hochdruck-Kraftstoffpumptyp ist in JP A 9-236080 offenbart, wobei die Kraftstoffpumpe eine Welle, die von außen eine Antriebskraft überträgt, eine Taumelscheibe, die durch die Welle gedreht wird, eine Pendelscheibe, die die Rotation der Taumelscheibe in eine Pendelbewegung umwandelt, mehrere Kolben, die sich durch die Pendelbewegung der Pendelscheibe hin und her bewegen, einen trennenden Federbalg zur Unterteilung einer Kurbelkammer, die die obenerwähnte Taumelscheibe aufnimmt, eine Pendelscheibe und Kolben in einer Kraftstoffkammer und eine Mechanismuskammer enthält, wobei ein Lagerabschnitt, der die Antriebskraft zwischen der Welle und der Taumelscheibe überträgt, und ein Lagerabschnitt, der die Antriebskraft zwischen der Taumelscheibe und der Pendelscheibe überträgt, in der Mechanismuskammer angeordnet sind, um die Lagerabschnitte mit Öl zu schmieren, und die obenerwähnten mehreren Kolben in der Kraftstoffkammer angeordnet sind, wodurch sie Kraftstoff aufnehmen und abgeben können.

Wenn diese Hochdruck-Kraftstoffpumpe für die Benzin-zufuhr verwendet wird, kann in der Mechanismuskammer, die den Druck des Benzins erhöht, kein hochviskoses und ausgezeichnet schmierendes Öl verwendet werden, da die Gefahr besteht, daß sich das hochviskose Öl mit Kraftstoff vermischt und eine Verbrennung auslöst. Deshalb ist die Kurbelkammer durch den trennenden Federbalg in die Kraftstoffkammer und die Mechanismuskammer unterteilt.

Dies bedeutet, daß als Schmieröl in der Mechanismuskammer Öl mit hoher Viskosität und ausgezeichneter Schmierfähigkeit eingeschlossen ist, um die Verschleißfestigkeit zu verbessern, wodurch Maßnahmen gegen den Verschleiß usw. zwischen den Gleitflächen der jeweiligen Teile des Mechanismus getroffen sind.

Andererseits wird in der Kraftstoffkammer eines Mecha-

nismusabschnitts, der bei dieser Konstruktion Hochdruck erzeugt, durch die Bewegung der mehreren Kolben, die sich infolge der Pendelbewegung der Pendelscheibe hin und her bewegen, Kraftstoff aufgenommen und abgegeben, wodurch der Kraftstoff unter Hochdruck gesetzt wird. Deshalb kommt in der Kraftstoffkammer nur Benzin des Kraftstoffs als Fluid vor. Deshalb wirkt das Benzin auf den Gleitabschnitten der jeweiligen Mechanismusabschnitte als Schmieröl.

Ferner ist in JP A 10-318091 als weiterer Hochdruck-Kraftstoffpumptyp eine Hochdruck-Kraftstoffpumpe mit radialem Tauchkolben offenbart. Die darin offensichtliche Kraftstoffpumpe enthält eine Welle, die die Antriebskraft eines Motors überträgt, einen Antriebsnocken, der die Rotation der Welle in eine Pendelbewegung umwandelt, einen Tauchkolben, der sich durch die Rotation des Antriebsnockens über eine Nockenscheibe hin und her bewegt, und eine Zylinderbohrung, die in Kombination mit dem Tauchkolben Kraftstoff aufnimmt und abgibt.

In jenen Kraftstoffpumpen müssen die Pumpenabschnitte (druckausübende Abschnitte) in der Kraftstoffkammer zwangsläufig unter hohem Oberflächendruck in dem Kraftstoff (Benzin) gleiten, weshalb sie als Abschnitte betrachtet werden, die hauptsächlich durch Verschleiß abgenutzt werden, da sie in wechselseitigem Kontakt gleiten.

Bezüglich des Mechanismusabschnitts, der den Druck des Kraftstoffs (Benzins) in den Pumpenabschnitten innerhalb der Kraftstoffkammer erhöht, wird angenommen, daß die Gleitabschnitte in dem Gleitmechanismusabschnitt eher abgenutzt werden, wenn Benzin als Schmieröl verwendet wird, da die Viskosität des Benzin weiters geringer ist als jene des gewöhnlichen Schmieröls.

Ferner wird in manchen Fällen Benzin, dem Methanol und/oder Ethanol hinzugefügt wurde, oder minderwertiges Benzin oder dergleichen als Kraftstoff verwendet. Wenn solches Benzin verwendet wird, neigt die Umgebung in manchen Fällen, in denen das Benzin mit Wasser, Säurekomponenten usw. vermischt ist, zur Oxidation, wodurch ein Verschleiß eintritt. In einem solchen Fall werden die Kontaktabschnitte des Gleitmechanismus in einen für Abnutzung und Bruch anfälligeren Zustand versetzt, wobei angenommen wird, daß das Maß an Verschleiß groß wird.

Wenn sich die Kontaktabschnitte des Gleitmechanismus abnutzen und das Maß an Verschleiß größer wird, ist es wahrscheinlich, daß die Wirksamkeit der Aufnahme und Abgabe vermindert wird und die Zuverlässigkeit selbstverständlich herabgesetzt wird.

Deshalb wird für jedes Teil des Gleitmechanismus Haltbarkeit, insbesondere Verschleißfestigkeit und Korrosionsbeständigkeit in Kraftstoff mit geringerer Schmierfähigkeit oder in Kraftstoff, der mit Säurekomponenten vermischt ist, gefordert.

Ferner offenbart JP A 8-35075 eine durch ein PVD-Verfahren ionenmitrierte Schicht und das Ausbilden darauf einer oberflächengehärteten Schicht, die aus einem Nitrid, Carbid oder Carbonitrid wenigstens eines der Elemente Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta und Cr zusammengesetzt ist, jedoch offenbart es keinerlei spezifische Anwendung und keinerlei spezifisches Problem bei der spezifischen Anwendung.

Ferner offenbart JP A 55-117068 die Bildung einer oberflächengehärteten Schicht auf einer Innenfläche einer Kraftstoffeinspritzbohrung durch Karburieren, Nitrieren usw. und die Bildung einer Schutzschicht auf der oberflächengehärteten Schicht, die härter als jene ist, durch ein CVD-Verfahren. JP A 55-117068 offenbart als Gegenstand den Verschleiß und die Korrosion infolge des Kontakts zwischen Fluid und Festkörper, jedoch berührt es keinen spezifischen Gegenstand im Fall der Verwendung für eine Kraftstoff-

pumpe.

## ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

Eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine Kraftstoffpumpe, deren Gleitmechanismusteile in einer Kraftstoffkammer in Kraftstoff mit herabgesetzter Schmierfähigkeit oder in Kraftstoff, der mit Säurekomponenten gemischt ist, eine ausgezeichnete Verschleißfestigkeit und Korrosionsbeständigkeit aufweisen, und einen Motor mit Direkteinspritzung, der die Kraftstoffpumpe verwendet, zu schaffen.

Die vorliegende Erfindung beruht auf einer Kraftstoffpumpe, die Kraftstoff zu einem Einspritzventil transportiert und dadurch gekennzeichnet ist, daß auf der Oberfläche wenigstens eines der Teile, die miteinander in Kontakt kommen und gleiten, ein korrosionsbeständiger und verschleißfester Überzug ausgebildet ist.

Die vorliegende Erfindung beruht auf einer Kraftstoffpumpe, die Kraftstoff unter Druck setzt und einem Einspritzventil eines Fahrzeugmotors zuführt.

Die vorliegende Erfindung beruht auf einer Kraftstoffpumpe, die Kraftstoff unter Druck setzt und einem Einspritzventil eines Fahrzeugmotors zuführt und dadurch gekennzeichnet ist, daß auf wenigstens einer der Gleitflächen, die miteinander in Kontakt kommen und durch den Kraftstoff gleiten, eine oberflächengehärtete Schicht, die entweder aus einer nitrierten Schicht, einer karburierten und abgeschreckten Schicht oder einer karbonisierten Schicht besteht, und eine auf der oberflächengehärteten Schicht ausgebildete Metallverbindungsschicht, die eine höhere Korrosionsbeständigkeit gegen den Kraftstoff als die oberflächengehärtete Schicht besitzt, ausgebildet sind oder die obenerwähnte oberflächengehärtete Schicht auf wenigstens einer der Gleitflächen, die miteinander in Kontakt kommen und durch Schmieröl gleiten, ausgebildet ist.

Die vorliegende Erfindung beruht auf einer Kraftstoffpumpe, die in einem Gehäuse eine Welle, die die Rotation von außen überträgt, eine Taumelscheibe, die die Rotation der Welle in eine Pendelbewegung umwandelt, und einen Tauchkolben, der sich durch die Pendelbewegung der Taumelscheibe über ein Gleitteil in einem Zylinder hin und her bewegt, enthält, den Kraftstoff unter Druck setzt und diesen einem Einspritzventil eines Fahrzeugmotors zuführt, wobei sie dadurch gekennzeichnet ist, daß auf wenigstens einer der Gleitflächen des Tauchkolbens und des Zylinders, die miteinander in Kontakt kommen und gleiten, eine oberflächengehärtete Schicht, die entweder aus einer nitrierten Schicht, einer karburierten und abgeschreckten Schicht oder einer karbonisierten Schicht besteht, und eine auf der oberflächengehärteten Schicht ausgebildete Metallverbindungs- schicht, die eine höhere Korrosionsbeständigkeit gegen den Kraftstoff als die oberflächengehärtete Schicht besitzt, ausgebildet sind oder sich die obenerwähnte oberflächengehärtete Schicht auf den Gleitflächen der Taumelscheibe und des Gleitteils, die miteinander in Kontakt kommen und gleiten, befindet.

Die vorliegende Erfindung beruht auf einer Kraftstoffpumpe, die in einem Gehäuse eine Taumelscheibe, die durch die von einer Welle von außen übertragene Rotation rotiert, eine Pendelscheibe, die durch die Rotation der Taumelscheibe pendelt, und einen Tauchkolben, der sich durch die Rotation der Pendelscheibe über ein Gleitteil in einem Zylinder hin und her bewegt, enthält, den Kraftstoff unter Druck setzt und diesen einem Einspritzventil eines Fahrzeugmotors zuführt, wobei sie dadurch gekennzeichnet ist, daß auf wenigstens einer der Gleitflächen des Tauchkolbens und des Zylinders, die miteinander in Kontakt kommen und gleiten,

gleiten, eine oberflächengehärtete Schicht, die entweder aus einer nitrierten Schicht, einer karburierten und abgeschreckten Schicht oder einer karbonisierten Schicht besteht, und eine auf der oberflächengehärteten Schicht ausgebildete Metallverbindungsschicht, die eine höhere Korrosionsbeständigkeit gegen den Kraftstoff als die oberflächengehärtete Schicht besitzt, ausgebildet sind oder die obenerwähnte oberflächengehärtete Schicht ferner auf Gleitflächen der Taumelscheibe und des Gleitteils, die miteinander in Kontakt kommen und gleiten, ausgebildet ist.

Die vorliegende Erfindung beruht auf einer Kraftstoffpumpe, die eine Welle, die sich durch den Lauf einer Brennkraftmaschine dreht, einen Nocken, der sich durch die Rotation der Welle dreht, und einen Tauchkolben, der sich durch die Rotation des Nockens in einem Zylinder hin und her bewegt, enthält, den Kraftstoff unter Druck setzt und diesen einem Einspritzventil eines Fahrzeugmotors zuführt, wobei sie dadurch gekennzeichnet ist, daß auf wenigstens einer der Gleitflächen des Tauchkolbens und des Zylinders, die miteinander in Kontakt kommen und gleiten, eine oberflächengehärtete Schicht, die entweder aus einer nitrierten Schicht, einer karburierten und abgeschreckten Schicht oder einer karbonisierten Schicht besteht, und eine auf der oberflächengehärteten Schicht ausgebildete Metallverbindungs- schicht, die eine höhere Korrosionsbeständigkeit gegen den Kraftstoff als die oberflächengehärtete Schicht besitzt, ausgebildet sind.

Die vorliegende Erfindung beruht auf einem Motor mit Direkteinspritzung, der eine Einspritzeinrichtung zur Direkteinspritzung von Kraftstoff in eine Brennkammer sowie eine Kraftstoffpumpe, die der Einspritzeinrichtung den Kraftstoff zuführt, enthält und dadurch gekennzeichnet ist, daß die Kraftstoffpumpe irgendeine der obenbeschriebenen Kraftstoffpumpen ist.

Für die oberflächengehärtete Schicht gemäß der vorliegenden Erfindung wird nach der Oberflächenbehandlung vorzugsweise eine Wärmebehandlung bei einer höheren Temperatur als jene der Oberflächenbehandlung ausgeführt, um ein Verschwinden nicht widerstandsfähiger Verbindungen zu bewirken. Die Oberflächenbehandlung durch Diffusion wird für eine nitrierte Schicht, eine karbonisierte Schicht, eine weichnitrierte Schicht, eine im Salzbad weichnitrierte Schicht, eine karbierte und abgeschreckte Schicht oder eine Schicht, die aus einer oder mehreren dieser Schichten besteht, ausgeführt. Insbesondere wird die Diffusionsbehandlung für eine nitrierte Schicht ausgeführt, da sie bei einer niedrigen Temperatur von ungefähr 500°C behandelt wurde, wodurch eine nicht widerstandsfähige Verbindungs- schicht ausgebildet wurde.

Gemäß der Erfindung ist der korrosionsbeständige und verschleißfeste harte Überzug vorzugsweise ein Überzug, der durch Ionplating entweder einer Carbid-, einer Nitrid- oder einer Carbonitrid-Metallverbindung gebildet wurde.

Bei der vorliegenden Erfindung können für die Gleitabschnitte, die miteinander in Kontakt kommen und gleiten, Werkzeugstähle, rostfreie Stähle, legierte Stähle und Lagerstähle verwendet werden.

Bei der vorliegenden Erfindung werden die durch Diffusion oberflächenbehandelte Schicht und die korrosionsbeständige und verschleißfeste harte Schicht vorzugsweise ausgebildet, indem sie kontinuierlich in einem Behandlungsbad behandelt werden.

Gemäß der vorliegenden Erfindung wird bei einer durch Diffusion oberflächenbehandelten Schicht in der nitrierten Schicht vorzugsweise kein Fe<sub>3</sub>N (weiße Verbindung) ausgebildet.

Bei der vorliegenden Erfindung wird die nitrierte Schicht als gehärtete Schicht vorzugsweise durch Einführen von

Wasserstoff, Stickstoff oder Wasserstoff und Ammoniak in einen Vakuumofen und Erzeugen von Plasma zur Aktivierung des Gases ausgebildet.

Der korrosionsbeständige und verschleißfeste harte Überzug wird gemäß der vorliegenden Erfahrung vorzugsweise durch ein PVD-Verfahren ausgebildet. Wenn ein CVD-Verfahren angewendet wird, liegt die Behandlungstemperatur in einer Höhe von 700–1100°C, wobei das Problem entsteht, daß bei der Ausbildung einer Schutzschicht auf der behandelten Schicht wie etwa einer nitrierten Schicht, karbonisierten Schicht usw. diese erhitzt wird, so daß sie aufweicht oder verschwindet.

Als Material für die Taumelscheibe wird bei der vorliegenden Erfahrung ein oberflächenbehandeltes Material aus legiertem Stahl, der im Maschinenbau verwendet wird, oder Gußeisen sowie ein oberflächenbehandeltes Material aus Gußeisen verwendet.

Gemäß der vorliegenden Erfahrung sind Gleitelemente vorzugsweise aus einer Aluminiumlegierung, einer Kupferlegierung, legiertem Werkzeugstahl, rostfreiem Stahl oder ihrem oberflächenbehandelten Material hergestellt.

Gemäß der vorliegenden Erfahrung ist ein Zylinder vorzugsweise aus legiertem Werkzeugstahl oder rostfreiem Ferritstahl hergestellt.

Falls in einem Teil des Mechanismus und einem Teil der Pumpe, der Kraftstoff unter Druck setzt und diesen abgibt, Gleitabschnitte in Benzin mit geringer Schmierfähigkeit oder in Kraftstoff, in dem Wasser und Alkohol vorhanden sind sowie Säurekomponenten vermischt sind, gleiten, wird die Oberflächenbehandlung und Kombination des Material jedes Gleitteils optimiert.

Die durch Diffusion oberflächenbehandelte Schicht bewirkt, daß dadurch, daß die Härte des Grundmaterials gesteigert wird und ein korrosionsbeständiger und verschleißfester harter Überzug ausgebildet wird, der Belastungswiderstand gegen hohen Oberflächendruck und außerdem die Beständigkeit gegen das Ablösen des harten Überzugs verbessert werden. In der durch Diffusion oberflächenbehandelten Schicht gibt es eine nitrierte Schicht, eine karbonisierte Schicht, eine weichnitrierte Schicht und eine im Salzbad nitrierte Schicht als Nitrid, um hauptsächlich Stickstoff zu diffundieren, wodurch sich in einem Temperaturbereich, in dem sich die Eigenschaft des Grundmaterials nicht verschlechtert, feines Nitrid niederschlägt, so daß sich die Härte erhöht. Ferner werden ein Karburierungs- und Aushärtungsverfahren durch Diffundieren von Kohlenstoff in einem Hochtemperaturbereich sowie das Abschrecken, um die Härte zu erhöhen, angewandt.

Nitride erlangen eine höhere Härte als das Grundmaterial durch Ausbilden von Nitriden durch Nitrid bildende Elemente und besitzen eine geringe Haftfähigkeit, wobei die Anfälligkeit des Grundmaterials für Reibung und Verschleiß verringert wird. Ferner ist die nitrierte Schicht eine behandelte Schicht, die sich aus dem Grundmaterial fortsetzt, so daß sie die Eigenschaft besitzt, daß sie selbst unter hohem Oberflächendruck nur schwer abzulösen ist. Die Härteschicht kann als tiefenbehandelte Schicht ausgebildet sein, wobei sie einen ausgezeichneten Belastungswiderstand besitzt, wenn auf sie ein hoher Oberflächendruck ausgeübt wird. Durch die Eigenschaften des korrosionsbeständigen und verschleißfesten harten Überzugs und die durch Diffusion oberflächenbehandelte Schicht werden die Korrosionsbeständigkeit und die Verschleißfestigkeit verbessert.

Durch die Konstruktion ist der Reibwiderstand klein, weshalb es so gut wie nicht vorkommt, daß das Material einer Seite am Material einer anderen Seite festhängt oder haf tet. Somit wird der Anfangsverschleiß, der Dauerverschleiß und das Festhängen oder dergleichen vermieden. Dadurch

kann eine hoch zuverlässige Kraftstoffpumpe geschaffen werden.

#### KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNG

- Fig. 1** ist eine erste Teilschnittansicht einer Kraftstoffpumpe einer Ausführungsform der vorliegenden Erfahrung;
- Fig. 2** ist eine Teilschnittansicht einer Struktur von Durchgängen in einem rückseitigen Körper der ersten Ausführungsform;
- Fig. 3** sind Ansichten zur Erläuterung der Kolbenhübe;
- Fig. 4** ist eine schematische Darstellung des Ölumlaufs eines Motors in der ersten Ausführungsform;
- Fig. 5** sind Darstellungen zur Erläuterung der Strukturen von oberflächenbehandelten Schichten bei der vorliegenden Erfahrung;
- Fig. 6** sind Photographien, die Strukturen von nitrierten Schichten, die in der Ausführungsform der vorliegenden Erfahrung verwendet werden, unter dem optischen Mikroskop und dem Rasterelektronenmikroskop zeigen;
- Fig. 7** ist eine graphische Darstellung, die die Ergebnisse einer Röntgenuntersuchung von nitrierten Schichten, die in der Ausführungsform der vorliegenden Erfahrung verwendet werden, zeigt;
- Fig. 8** sind Bilder eines Rasterelektronenmikroskops, die Zustände einer durch ein herkömmliches Nitrierverfahren behandelten Oberfläche zeigen;
- Fig. 9** sind graphische Darstellungen, die jeweils Behandlungsprozesse zeigen, die in einer Ausführungsform der vorliegenden Erfahrung ausgeführt werden;
- Fig. 10** sind graphische Darstellungen, die jeweils die Härteverteilung von nitrierten Schichten verschiedenartiger, in der Ausführungsform der vorliegenden Erfahrung verwendeter Stähle zeigen;
- Fig. 11** ist eine erläuternde Darstellung der in der Ausführungsform der vorliegenden Erfahrung verwendeten Behandlungsvorrichtungen;
- Fig. 12** ist eine graphische Darstellung, die die Korrosionsbeständigkeit verschiedener bei der vorliegenden Erfahrung verwendeter Stähle zeigt;
- Fig. 13** ist eine erläuternde Darstellung zur Erklärung des Verschleißes durch Oxidation bei Kombination verschiedener Stähle;
- Fig. 14** ist eine vergrößerte Schnittansicht eines Teils des Tauchkolbens aus **Fig. 1**, die die oberflächenbehandelte Schicht in der ersten Ausführungsform zeigt;
- Fig. 15** sind vergrößerte Schnittansichten, die die oberflächenbehandelten Schichten der Taumelscheibe und des Gleitteils aus **Fig. 1** in der ersten Ausführungsform zeigen;
- Fig. 16** ist eine Schnittansicht einer Kraftstoffpumpe einer zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfahrung;
- Fig. 17** ist eine schematische Darstellung, die den Aufbau eines Kraftstoffeinspritzsystems in der ersten Ausführungsform zeigt;
- Fig. 18** ist eine vergrößerte Schnittansicht einer oberflächenbehandelten Schicht des Tauchkolbens aus **Fig. 16** in der zweiten Ausführungsform;
- Fig. 19** ist eine vergrößerte Teilschnittansicht, die eine oberflächenbehandelte Schicht des Einlaßventils aus **Fig. 16** zeigt;
- Fig. 20** ist eine vergrößerte Teilschnittansicht, die eine oberflächenbehandelte Schicht eines Auslaßventils (Druckventils) aus **Fig. 16** in der zweiten Ausführungsform zeigt;
- Fig. 21** ist eine Schnittansicht einer Kraftstoffpumpe einer Ausführungsform der vorliegenden Erfahrung;
- Fig. 22** sind Diagramme, die die Härte von Nitridschichten aus **Fig. 21** zeigen;
- Fig. 23** ist eine vergrößerte Teilschnittansicht, die eine

oberflächenbehandelte Schicht aus Fig. 21 zeigt; und Fig. 24 ist eine Darstellung des Aufbaus eines Ottomotors mit Direkteinspritzung, der sich auf die vorliegende Erfindung bezieht.

## BESCHREIBUNG VON AUSFÜHRUNGSFORMEN DER VORLIEGEN-DEN ERFINDUNG

### AUSFÜHRUNGSFORM 1

Ein Beispiel einer Kraftstoffpumpe mit Taumelscheibe und axialem Tauchkolben (Dreizylindertyp) ist in den Fig. 1 bis 4 gezeigt.

Die Kraftstoffpumpe mit Taumelscheibe und axialem Tauchkolben enthält eine Welle 1, die von einem externen Teil die Antriebskraft in ein Gehäuse überträgt, eine Taumelscheibe 9, die die Rotation der Welle 1 in eine Pendelbewegung umsetzt, Tauchkolben 11, die jeweils durch die von der Welle 1 gedrehte Taumelscheibe 9 über ein Gleitteil 10 hin und her bewegt werden, und Zylinderbohrungen, die die Tauchkolben 11 aufnehmen und durch die Hin- und Herbewegung der Tauchkolben 11 Kraftstoff aufzunehmen und abgeben. Die Kontaktabschnitte zwischen der Taumelscheibe 9, den Gleitteilen 10 und den Tauchkolben 11 werden mit Schmieröl geschmiert, während die Gleitabschnitte zwischen den Tauchkolben 11 und den Zylinderbohrungen 13 mit Kraftstoff geschmiert werden. Auf einer Oberfläche jedes im Kraftstoff gleitenden Tauchkolbens 11 sind eine nitrierte Schicht, eine karburierte und abgeschreckte Schicht oder auf der karburierten und abgeschreckten Schicht und der nitrierten Schicht ausgebildetes Carbid, Nitrid und Kohlenstoffnitrid ausgebildet.

Bei der Kraftstoffpumpe entfällt der herkömmliche Faltenbalg, der das Schmieröl und den Kraftstoff trennt, wobei Dichtungselemente an den Endabschnitten der Gleitabschnitte zwischen den Tauchkolben 11 und den Zylinderbohrungen 13 vorgesehen sind, um die Antriebsmechanismusabschnitte ausreichend zu schmieren, wodurch die Anzahl der Elemente, die in Benzin gleiten, verringert wird.

Wie in Fig. 1 gezeigt ist, ist eine Kupplung 2, die die Antriebskraft von einer Nockenwelle 6 eines Motors überträgt, mit der Welle 1 über einen in die Kupplung 2 eingepaßten Bolzen verbunden. Die Taumelscheibe 9 ist an einem Ende der Welle 1 einteilig ausgebildet. Die Taumelscheibe 9 besitzt eine schiefe Ebene, die sich an ihrem Ende auf der der Welle 1 abgewandten Seite radial erstreckt. Die Taumelscheibe 9 ist mit den Gleitteilen 10 auf der schießen Ebene in Kontakt. Jedes Gleitteil 10 besitzt eine Verjüngung, die zur Unterstützung der Ölfilmbildung zwischen der Taumelscheibe 9 und dem Gleitteil 9 auf einem äußeren Begrenzungsschnitt des Gleitteils 10 auf seitens der Taumelscheibe ausgebildet ist. Die Gleitteile besitzen jeweils einen kugelförmig vertieften Abschnitt, der auf der Seite ausgebildet ist, die der mit der Taumelscheibe in Kontakt befindlichen Seite entgegengesetzt ist. Die kugelförmig vertieften Abschnitte auf den Gleitteilen 10 nehmen die kugelförmigen Enden der Tauchkolben 11 auf, wodurch die Gleitteile 10 durch die Tauchkolben 11 geführt werden. Die Rotation der Taumelscheibe 9 bewirkt ein Pendeln der schießen Ebene, wobei die Pendelbewegung bewirkt, daß sich die Tauchkolben 11 hin und her bewegen.

Bei der Kraftstoffpumpe dieser Konstruktion geschieht die Aufnahme und Abgabe von Kraftstoff wie folgt.

Die mehreren Zylinderbohrungen 13 und die Tauchkolben 11 bilden Pumpenkammern 14 innerhalb eines Zylinderblocks oder Zylinders 12. In einem mittleren Abschnitt des Zylinderblocks 12 ist ein Einlaßraum 15 vorgesehen, der mit jedem der Kolben 11 in Verbindung steht, wobei den

Pumpenkammern 14 durch den Einlaßraum 15 Kraftstoff zugeführt wird. Zur Einführung von Kraftstoff in den Einlaßraum 15 ist auf einem rückseitigen Körper 20 außerhalb der Kraftstoffpumpe ein Kraftstoffrohr angebracht, wobei der Einlaßraum 15 so angeordnet ist, daß er mit einer Einlaßkammer 30 in Verbindung steht, die in der Mitte des rückseitigen Körpers 20 ausgebildet ist, um durch einen Einlaßdurchgang im rückseitigen Körper mit dem Kraftstoffrohr in Verbindung zu stehen.

- 10 In jedem Tauchkolben 11 ist ein Einlaßventil (Absperrenventil 24), das Kraftstoff einläßt, ausgebildet, wobei das Einlaßventil aus einer Kugel 21, einer Feder 22 und einem Anschlag 23, der die Feder 22 stützt, zusammengesetzt ist. Außerdem ist in den Tauchkolben 11 eine Tauchkolbenfeder 15 eingesetzt, um den Tauchkolben 11 stets in Richtung der Taumelscheibe 9 zu drücken und so zu bewirken, daß der Tauchkolben 11 mit dem Gleitteil 10 der Taumelscheibe 9 folgt.

Im Tauchkolben 11 ist ein Verbindungsduchgang A 16 zum Einlaßventil 24 ausgebildet, um für eine Verbindung zwischen einer Gegenbohrung 51 und dem Einlaßraum 15 zu sorgen. Die Gegenbohrung 51 besitzt einen größeren Durchmesser als die Zylinderbohrung 13 und eine solche Tiefe, daß eine Einführungsbohrung 19 und die Gegenbohrung 51 selbst dann, wenn die Pumpenkammer 14 weitgehendst geschrumpft ist (bei einer Position des Tauchkolbens am oberen Tropunkt), miteinander in Verbindung stehen, so daß dem Tauchkolben 11 ständig Kraftstoff zugeführt werden kann.

- 30 Fig. 3 ist eine vergrößerte Ansicht des Tauchkolbens 11 zur Erklärung der Kobenhübe.

Bei einem Ansaughub (dies ist ein Hub, bei dem sich der Tauchkolben 11 so bewegt, daß sich der Raum der Pumpenkammer 14 ausdehnt) in Fig. 3(a) öffnet das im Tauchkolben 11 vorgesehene Einlaßventil 24, um Kraftstoff in die Pumpenkammer 14 aufzunehmen, wenn der Druck in der im Tauchkolben 11 vorgesehenen Pumpenkammer 14 unter einen vorgeschriebenen Druck fällt. Wenn die Pumpe ferner vom Ansaughub zu einem Förderhub übergeht (dies ist ein Hub, bei dem sich der Tauchkolben so bewegt, daß der Raum der Pumpenkammer 14 schrumpft), siehe Fig. 3(b), öffnet eine Förderpumpe 28, die aus einer Kugel 26 und einer Feder 27 zusammengesetzt ist, um zu einem Zeitpunkt, in dem die Pumpenkammer 14 ebenso wie das Einlaßventil 24 einen vorgeschriebenen Druck erreicht, Kraftstoff aus der Pumpenkammer 14 an die in dem rückseitigen Körper 20 ausgebildeten Auslaßkammer 29 abzugeben. Hierbei sind die Einlaßkammer 30 und die Auslaßkammer 29, die jeweils in dem rückseitigen Körper 20 ausgebildet sind, durch einen O-Ring 31 getrennt, wobei die Einlaßkammer 30 in bezug auf die Auslaßkammer 29 mehr zur Mitte hin ausgebildet ist, wodurch die Konstruktion der Durchgänge der Pumpe ihrerseits kompakter ausgeführt ist.

- 55 Der Druck in der Auslaßkammer 29 kann durch ein Druckregelventil (in der Folge als Druckregler bezeichnet) 40, das, wie in Fig. 2 gezeigt ist, an einem Durchgang vorgesehen ist, der mit der Auslaßkammer 29 in Verbindung steht, so gesteuert werden, daß er optimal ist. Zur Steuerung des Drucks, der an eine (nicht gezeigte) Einspritzdüse auf der Auslaßseite ausgeübt wird, wird der Förderdruck gesteuert. Der aus der Hochdruckkammer zum Druckregler 40 geführte Hochdruck-Kraftstoff wird durch ein Kugelventil 41, das im Druckregler 40 vorgesehen ist und einen Verbindungsduchgang B 42, der in dem rückseitigen Körper 20 vorgesehen ist, zur Einlaßkammer 30 zurückgeführt. Ein Einlaßduchgang 43, die Einlaßkammer 30, der Einlaßraum 15 und der Verbindungsduchgang A 16 sind Teile eines Kraftstoffzufuhrduchgangs, um aus einer Kraftstoffquelle

jeder Zylinderbohrung Kraftstoff zuzuführen.

In dieser Weise wechselt der Druck in der Pumpenkammer 14 von einem Ansaugdruck (im allgemeinen 0,2 MPa bis 0,5 MPa) zu einem Hochdruck-Kammerdruck (im allgemeinen 3 MPa bis 20 MPa). Infolge des Kraftstoffdrucks in jeder der Pumpenkammern 14 wird durch den Tauchkolben und das Gleitteil 10 eine Last auf die Taumelscheibe 9 der Welle 1 übertragen. Das heißt, daß auf die Taumelscheibe 9 eine aus den Lasten der mehreren Tauchkolben 11 resultierende Kraft ausgeübt wird. Die resultierende Kraft wirkt als axiale Last und als radiale Last, die vom Neigungswinkel der Taumelscheibe abhängen, auf die Welle. Um diesen Kräften zu widerstehen und eine gleichmäßige Rotation zu erzielen, ist die Welle in einem Radiallager 7 und einem Axiallager 8 befestigt, um die Last auf dem Körper 5 aufzufangen.

Abschnitte (Gleitteile 10/Taumelscheibe 9, Gleitteil 10/kugelförmig ausgespater Abschnitt des Tauchkolbens und Lagerabschnitt), die diese Lasten aufnehmen, sind Teile, die infolge der Rotation und der Last eine Relativgeschwindigkeit erfahren, wobei deren Gleitreibung durch Ölschmierung verringert werden kann. Deshalb muß in einer zwischen dem Körper 5 und dem Zylinderblock 12 ausgebildeten Taumelscheibenkammer 38 eine Ölspeicherstruktur vorgesehen werden.

In der vorliegenden Ausführungsform sind im Zylinderblock 12 Dichtungen 17 zum Abdichten des Kraftstoffs und des Öls während der Hin- und Herbewegung der Tauchkolben 11 vorgesehen. Die Dichtungen 17, die relativ hin und her gleiten, verschließen Spalte zwischen den Tauchkolben 11 und den Zylinderbohrungen 13. Die Dichtungen 17 sind jeweils Dichtungselemente zum Trennen von Kraftstoff und Öl. Der auf jede Dichtung 17 ausgeübte Druck ist stets der obenerwähnte Niederdruck-Ansaugdruck, da zwischen der Dichtung 17 und der Pumpenkammer 14 ein Verbindungsduchgang A 16 besteht, weshalb der Hochdruck in der Hochdruckkammer 14 nicht auf die Dichtungen 17 einwirkt. Dadurch erhöht sich die Haltbarkeit und die Zuverlässigkeit der Dichtungen 17.

Als nächstes wird mit Bezug auf Fig. 4 eine Ölzirkulation und ein Ölzirkulationsverfahren erklärt.

Die durch eine Wellendichtung 35 geführte Welle 1 und die Kupplung 2 sind in einen Kupplungsanschlussschnitt 33 des Motornockens 6, die in ihrer Mitte einen Öldurchgang 34 enthält, eingepaßt, während durch einen Verbindungsduchgang 4, der in der Mitte der Welle 1 vorgesehen ist, um mit der Taumelscheibenkammer 38 zu kommunizieren, Öl aus dem Motor in die Schrägkammer 38 eingeführt wird. Die Wellendichtung 35 dichtet das Öl nicht völlig ab, sondern ermöglicht, daß Öl mit dem notwendigen und minimalen Durchsatz in die Taumelscheibenkammer 38 fließt. Dadurch kann weitgehendst vermieden werden, daß die Antriebswelle infolge der Exzentrizität zwischen dem Motornocken 6 und der Welle 6 eine exzentrische Last aufnimmt, weshalb sich die Haltbarkeit des Radiallagers 7 erhöht. Ferner kann durch Begrenzung der in die Taumelscheibenkammer 38 fließenden Menge des Öls auf das notwendige und minimale Quantum erreicht werden, daß das durch den über die Dichtung 17 in die Taumelscheibenkammer 38 entwichenen Kraftstoff verdünnte Öl durch das einströmende Öl ersetzt wird, wobei eine Temperaturerhöhung der Taumelscheibenkammer 38 verhindert wird. Ferner kann durch Einführung von Öl durch die Mitte der Welle 1 eine Einführung von Öl ohne jeglichen weiteren Öldurchgang erreicht werden, so daß eine Anpassungsfähigkeit an den Motor erzielt werden kann und die Motorgröße kompakt gehalten werden kann.

In der vorliegenden Ausführungsform wird durch den in

der Mitte der Welle 1 vorgesehenen Verbindungsduchgang C 4 Öl eingeführt, jedoch würde auch jeder andere Öleinführungsdurchgang genügen, wenn dieser so vorgesehen ist, daß er mit der Ölquelle des Motors und der Taumelscheibenkammer 38 der Pumpe in Verbindung steht.

Als nächstes wird eine Erläuterung eines Durchgangs, der das der Taumelscheibenkammer 38 vom Motor zugeführte Öl zum Motor zurückführt, gegeben. Der Durchgang ist ein Rückführungsdurchgang 36 von der Taumelscheibenkammer 38 zu einer Motornockenkammer 39. Der Rückführungsdurchgang 36 ist zusätzlich zu einer im Körper 5 der Pumpe vorgesehenen Flanschfläche 37, die sich am Motor anbringen läßt, auf seiten der Kupplung 2 vorgesehen, wodurch das Öl in der Taumelscheibenkammer 38 zurückgeführt werden kann, ohne irgendeinen spezifischen Durchgang auf der Motorseite zu schaffen. Der Rückführungsdurchgang 36 ist an einer Stelle angeordnet, die oberhalb der Gleitflächen der Taumelscheibe 9 und der Gleitteile 10 liegt, wodurch über den Rückführungsdurchgang 36 Dampf in die Motornockenkammer 39 abgelassen werden kann, falls Dampf erzeugt wird, und die Gleitflächen stets mit Schmieröl geschmiert werden. Ferner ist der Durchmesser des Rückführungsdurchgangs 36 größer als jener des Durchgangs C 4 zur Ölleitung ausgeführt. Dadurch ist die Menge des aus der Taumelscheibenkammer 38 ausströmenden Öls nicht kleiner als die Menge des einströmenden Öls, so daß sich der Druck in der Taumelscheibenkammer 38 nicht erhöht, wodurch sich die Zuverlässigkeit der Dichtung 17 erhöht.

Der Druck in der Taumelscheibenkammer 38 bleibt stets kleiner als der Ansaugdruck des Kraftstoffs, ohne sich zu erhöhen, wodurch verhindert wird, daß Öl zur Kraftstoffseite hin entweicht. Ferner wird gleichzeitig die Kraft in Richtung der Taumelscheibe stets auf die Tauchkolben 11 ausgeübt, wobei die Belastung jeder Tauchkolbenfeder 25 verringert wird.

Bei der obenerwähnten Konstruktion ist ein Punkt, der sich stark von einer herkömmlichen Pumpe mit Taumelscheibe und axialem Tauchkolben unterscheidet, der, daß die Taumelscheibe und die Gleitteile bei hoher Umlaufgeschwindigkeit in Schmieröl gleiten. Die Rotation der Taumelscheibe wird in eine Pendelbewegung umgewandelt, wodurch die Tauchkolben hin und her bewegt werden. In diesem Fall ist ein Dichtungselement zwischen jedem Tauchkolben und jeder Zylinderbohrung vorgesehen, wodurch das Schmieröl vom Kraftstoff getrennt wird, weshalb die Anzahl der Elemente, die in Benzin gleiten, gering bleibt.

In der vorliegenden Ausführungsform sind die Hauptelemente, die in Kraftstoff arbeiten und gleiten und gegen korrosionsbeständig und verschleißfest sein müssen, die Tauchkolben, die druckbelastete Elemente der Pumpenkammer sind, wobei die Zylinder Zylinderbohrungen enthalten, die die Tauchkolben gleitend führen. Im speziellen ist zwischen den Tauchkolben und der Zylinderbohrung ein umfänglicher Spalt von höchstens 10 µm ausgeführt, um das Entweichen von Öl aus der Druckkammer auf ein Minimum zu beschränken. Deshalb wird die Leistung der Pumpe geringer, wenn sich der Spalt infolge des Verschleißes usw. vergrößert.

Ferner müssen die Tauchkolben auch in den Gleitabschnitten zwischen den Tauchkolben und den Wellendichtungen, die zwischen Kraftstoff und Öl abdichten, korrosionsbeständig und verschleißfest sein. Ein Verschleiß der Gleitabschnitte ist nicht wünschenswert, da das Öl verdünnt wird, wenn Kraftstoff in das Öl entweicht, wobei sich die Schmierfähigkeit und der Kraftstoffverbrauch jeweils verschlechtern.

Die Tauchkolben und der Zylinderblock sind jeweils aus dem folgenden Material gefertigt.

Der Außendurchmesser und die Zylinderbohrung gleiten in der Anfangsphase in linearem Kontakt miteinander, so daß die Kontaktabschnitte einem hohen Oberflächendruck (Hertz-Spannung) ausgesetzt sind. Deshalb sollte das Material in der Härte hart sein. Für den Zylinderblock kann ein vergüteter rostfreier Martensitstahl aus JIS SUS440C, JIS SUS420J2 (JIS = Japanese Industrial Standards) verwendet werden, der zur Erzeugung von Formen durch Druckarbeit usw. reduziert werden kann und eine hohe Ergiebigkeit besitzt. Ferner kann vergüteter legierter Werkzeugstahl JIS SKD61 und JIS SKD11 verwendet werden.

Das Material JIS SUS440C und JIS SUS420J2 besitzt durch Vergütung als Grundmaterial eine Härte von 500–700 Hv. Ferner weist das Material als rostfreier Stahl eine hohe Korrosionsbeständigkeit auf.

Das Material für die Tauchkolben ist das gleiche wie das Material für den Zylinderblock. Jedoch ist das Material einem höheren Oberflächendruck als der Zylinderblock ausgesetzt, so daß das Material einer Oberflächenbehandlung unterzogen wird, um durch Erhöhen der Härte Verschleißfestigkeit zu erzielen.

**Fig. 5** zeigt Oberflächenstrukturen gemäß der vorliegenden Erfindung. Die Oberflächenstrukturen bestehen jeweils aus einer oberflächenbehandelten Verbindungsschicht, in der im Grundmaterial eine durch Diffusion oberflächenbehandelte Schicht ausgebildet wurde und anschließend auf der Oberfläche ein gegen Verschleiß durch Korrosion widerstandsfähiger Überzug ausgebildet wurde. Die in **Fig. 5(a)** gezeigte Oberflächenstruktur setzt sich aus einem gegen Verschleiß durch Korrosion widerstandsfähigen Überzug und einer durch Diffusion oberflächenbehandelten Schicht I zusammen, während sich die Oberflächenstruktur in **Fig. 5(b)** aus einem gegen Verschleiß durch Korrosion widerstandsfähigen Überzug und einer durch Diffusion oberflächenbehandelten Schicht II zusammensetzt und die Oberflächenstruktur in **Fig. 5(c)** sich aus einem gegen Verschleiß durch Korrosion widerstandsfähigen harten Überzug, einer durch Diffusion oberflächenbehandelten Schicht I und einer durch Diffusion oberflächenbehandelten Schicht II zusammensetzt.

Die durch Diffusion oberflächenbehandelte Schicht I besteht aus Nitrid, wobei als Schicht eine nitrierte Schicht, eine karbonitierte Schicht, eine weichnitrierte Schicht oder eine im Salzbad weichnitrierte Schicht vorkommen, wobei bei jeder in einer Niedrigtemperaturbehandlung, durch die die Eigenschaften des Grundmaterials nicht verloren gehen, hauptsächlich Stickstoff diffundiert ist und sich feines Nitrid niederschlägt, so daß sich die Härte erhöht. Eine harte Oberflächenbeschichtung mit einer Härte von über 1000 Hv kann ohne weiteres ausgebildet werden, jedoch ist die Behandlungsschicht relativ dünn. Ferner wird die Eigenschaft einer verringerten Haftfähigkeit erzielt und der Widerstand gegen Reibungsabnutzung verbessert.

Die durch Diffusion oberflächenbehandelte Schicht II ist eine karburierte Schicht, in der in einem Hochtemperaturbereich Kohlenstoff diffundiert wurde und eine austärkende Wärmebehandlung ausgeführt wurde, um die Härte der Schicht zu erhöhen. Die Schicht II entspricht einer Schicht, die tiefer ausgehärtet ist als die durch Diffusion oberflächenbehandelte Schicht I und einer Last ausgezeichnet widersteht, wenn ein hoher Oberflächendruck aufgebracht wird.

Jede dieser oberflächendiffundierten Schichten besitzt die Eigenschaft, daß sie selbst dann, wenn ein hoher Oberflächendruck ausgeübt wird, nur schwer abzulösen ist, da sich die behandelte Schicht aus dem Grundmaterial fortsetzt. Ferner wird durch Erhöhen der Härte des Grundmate-

rials ein korrosionsbeständiger und verschleißfester Überzug ausgebildet, wodurch der Belastungswiderstand gegen einen hohen Oberflächendruck verbessert wird, wobei der Widerstand gegen das Abblättern des harten Überzugs ebenfalls verbessert wird.

Um den obenerwähnten Zieleigenschaften zu genügen, werden die Struktur und der Oberflächenzustand der durch Diffusion oberflächenbehandelten Schicht I als Basis für den korrosionsbeständigen und verschleißfesten Überzug wichtig. Das heißt, daß es wichtig ist, daß die nitrierte Schichtoberfläche einer Struktur und einem Zustand entspricht, bei denen der Widerstand gegen das Abblättern des harten Überzugs nicht vermindert wird.

Ein Plasmanitrierverfahren ist ein Verfahren, bei dem ein zu behandelnder Gegenstand als Katode in einem druckreduzierten Behälter (Anode) angeordnet wird, wobei Stickstoff-Quellgas ( $N_2$ ) und Verdünnungsgas ( $H_2$ ) in diesen eingeführt werden, an diesen eine hohe Gleichspannung angelegt wird, um eine Gleichspannungsentladung (anwachsende Entladung) hervorzurufen, und durch das Gleichspannungsplasma ionisierter N darin diffundiert wird.

Die **Fig. 6** und **Fig. 7** zeigen ein Beispiel eines Untersuchungsergebnisses einer durch dieses Nitrierverfahren ausgebildeten Oberflächenschicht. Ein Prüfteil ist ein rostfreier Martensitstahl JIS SUS403. **Fig. 6** zeigt ein Beobachtungsergebnis der Struktur von Schnitten nitrierter Schichten unter einem optischen Mikroskop und einem Rasterelektronenmikroskop, während **Fig. 7** das Ergebnis einer Röntgenuntersuchung von Oberflächenschichten zeigt. Auf dem größten Teil der durch Plasmanitrierung behandelten Oberfläche sind  $Fe_2N$ ,  $Fe_3N$  als Fe-Nitride einer als weiße Verbindungen bezeichneten  $\epsilon$ -Phase,  $Fe_4N$  einer  $\gamma$ -Phase und  $CrN$  als Cr-Nitrid ausgebildet. Auf dem größten Teil der Oberfläche in der Struktur ist eine weiß aussehende Schicht vorhanden, wobei an einer Spaltfläche ein ebener und glatter Bruch auftritt, der brüchig und weich ist.

**Fig. 8** zeigt ein Beobachtungsergebnis von Zuständen durch Plasmanitrierung behandelten Oberflächen. Es sei angemerkt, daß auf dem größten Teil der Oberfläche infolge des Adhäsionsphänomens von zerstäubten Teilchen feine Eisenpartikel als Überzug von 1–2  $\mu m$  haften. Wenn an der Grenzfläche eines harten Überzugs feine Partikel vorhanden sind, wird die Adhäsionskraft gering und der Widerstand gegen das Abblättern vermindert.

Aus den oben genannten Gründen wird bei der vorliegenden Erfindung im Fall, in dem eine durch Plasmanitrierung nitrierte Schicht als durch Diffusion oberflächenbehandelte Schicht I verwendet wurde, vorzugsweise der größte Teil der Oberfläche durch Abschleifen oder dergleichen um 10  $\mu m$  abgetragen.

Wenn die Plasmanitrierung ausgeführt wird, wird zur Be seitigung der brüchigen und weichen  $\epsilon$ -Phase aus weißer Verbindung vorzugsweise neben der Nitrierung auch die Diffusionsbehandlung ausgeführt.

**Fig. 9** sind graphische Darstellungen, die jeweils einen Behandlungsprozeß zur Steuerung der Härte einer nitrierten Schicht zeigen. In diesem Fall ist es möglich, ein Gas-Nitrierverfahren oder dergleichen als Nitrierung in dem Behandlungsprozeß anzuwenden. Jedoch ist eine Plasmanitrierung (ein Ionen-Nitrierverfahren) das die Verbindungen einer Oberflächenschicht weitaus besser steuern kann, geeigneter.

Während des Behandlungsprozesses (a) werden die Nitrierung und die Diffusion kontinuierlich ausgeführt. In der vorliegenden Ausführungsform wird die Nitrierung durch Plasmanitrierung ausgeführt. Bei der Plasmanitrierung kann die Temperatur der zu behandelnden Gegenstände durch aufgebrachte Leistung (Entladungsleistung) erhöht und auf

beliebiger Höhe gehalten werden, da der druckreduzierte Behälter gekühlt wird. Ferner besteht das Merkmal, daß die Atmosphäre zu einer nitrierenden Atmosphäre oder nichtnitrierenden Atmosphäre (Diffusion) gemacht werden kann. Andererseits ist es beim Gas-Nitrierverfahren, durch die Vorrichtung bedingt, schwierig, den Prozeß in einem Temperaturbereich von ungefähr 600°C oder mehr auszuführen, so daß eine Diffusionsbehandlung im Temperaturbereich von ungefähr 600°C oder darüber problematisch ist.

Während des Behandlungsprozesses (b) werden die Nitrierung und die Diffusion diskontinuierlich ausgeführt. In der vorliegenden Ausführungsform wird die Nitrierung durch Plasmanitrierung ausgeführt. Während des Diffusionsprozesses werden das Erwärmen und das Halten in einem Vakuum-Wärmebehandlungsofen ausgeführt. Der Prozeß kann in nichttoxischierender Atmosphäre in einem Wärmebehandlungsofen, der eine Inertgas-Atmosphäre wie etwa N<sub>2</sub>, Ar usw. verwendet und sich vom obenerwähnten Ofen unterscheidet, ausgeführt werden.

**Fig. 10** sind graphische Darstellungen (a) und (b), die Verteilungen der Nitridschichthärtete des rostfreien Martensitstahls JIS SUS403 bzw. des legierten Werkzeugstahls JIS SKD11 zeigen. Die Zielwerte der nitrierten Schichten sind eine Oberflächenhärtete von über 1000 Hv, eine Tiefe des ausgehärteten Anteils (Tiefe des Überzugs) von über 0,1 mm und eine Härtete von über 500 Hv.

Die Behandlungsbedingungen sind folgende: Temperatur: 530°C, Zeit: 8 Stunden, Gaszusammensetzung: N<sub>2</sub>/H<sub>2</sub> gleich 1/3, Druck (Pirani): 40 Torr. In der Härteverteilung des Werkzeugstahls JIS SKD11, der nach ausschließlicher Nitrierung (ohne jegliche Behandlung nach der Nitrierung) belassen wurde, beträgt die Härtete an einer Stelle 25 µm unter der Oberfläche 1060 Hv, wird von der Oberfläche nach innen gehend allmählich kleiner und erreicht die Härtete des Grundmaterials.

Das Material mit dieser Härteverteilung wird einem Diffusionsprozeß unterzogen. Bei der Plasmanitrierung beträgt die Temperatur 550°C, die Zeit beträgt 2,5 Stunden, die Gaszusammensetzung besteht nur aus H<sub>2</sub> und der Druck (Pirani) beträgt 40 Torr.

In der Härteverteilung des Materials, das nach der Nitrierung einem Diffusionsprozeß unterzogen wurde, beträgt die Härtete an der Oberfläche 1010 Hv und wird nach innen zu allmählich niedriger und erreicht die Härtete des Grundmaterials.

Bei den obenerwähnten Oberflächenschicht-Untersuchungsergebnissen der **Fig. 6** und **7** gemäß der Nitrierbehandlung und dem Diffusionsprozeß tritt im Abschnitt, der der Oberfläche am nächsten liegt, keinerlei weiß aussehende Schicht auf, wobei die Spaltfläche auch keinen brüchigen Bruchzustand aufweist. Die im Oberflächenabschnitt identifizierten Verbindungen sind CrN als Cr-Nitrid und α-Fe des Grundmaterials. Es wurde festgestellt, daß durch die Diffusionsbehandlung nach der Nitrierung Fe<sub>2</sub>N, Fe<sub>3</sub>N als ε-Phase einer weißen Verbindung verschwinden und nicht vorkommen. Die Ergebnisse verschiedener anderer Stähle gleichen den obenerwähnten.

Wie aus diesem Ergebnis deutlich wird, wird durch die Nitrierung und die Diffusionsbehandlung die Härtete gesteuert und eine feste nitrierte Schicht ausgebildet. Ferner können auch Verbindungen der Oberflächenschicht gesteuert werden. Dadurch wird es überflüssig, von der Oberfläche eine brüchige ε-Phase abzutragen. Jedoch haften in diesem Fall infolge des Adhäsionsphänomens zerstäubter Teilchen, durch Ionisation bedingt, feine Eisenpartikel von ungefähr 1–2 µm als Überzug, so daß sie durch Läppen oder dergleichen entfernt werden müssen.

Deshalb wird eine erfundungsgemäße Oberflächenbe-

handlungsvorrichtung, wie sie in **Fig. 11** gezeigt ist, verwendet, um eine Oberflächenverbindungsschicht oder eine nitrierte Schicht auszubilden, an der keine zerstäubten Teilchen haften. Die Oberflächenbehandlungsvorrichtung nach **Fig. 11** bildet auf einem Grundmaterial eine durch Diffusion oberflächenbehandelte Schicht aus und bildet anschließend kontinuierlich einen korrosionsbeständigen und verschleißfesten Überzug aus. Deshalb ist ein Mechanismus mit einem System zur Oberflächenbehandlung durch Diffusion und mit einem System für einen korrosionsbeständigen und verschleißfesten harten Überzug vorgesehen. Die **Fig. 11(a)** und **(b)** unterscheiden sich beim Oberflächenbehandlungssystem durch Diffusion hinsichtlich der Plasmaquelle zur Aktivierung des Prozeßgases, wobei in **Fig. 11(a)** ein Hochfrequenz-Plasmasytem gezeigt ist und in **Fig. 11(b)** ein Mikrowellen-Plasmasytem gezeigt ist.

Die Nitridschichtbildung durch die Oberflächenbehandlung durch Diffusion unter Verwendung der Oberflächenbehandlungsvorrichtung vollzieht sich durch Einführen von Wasserstoff, Stickstoff, Wasserstoff und Ammoniak oder einem Verdünnungsgas, das sich vom obigen Prozeßgas unterscheidet, in einen Vakuumofen und durch Erzeugen von Plasma zur Aktivierung des Prozeßgases. In einem solchen Fall wird ein behandeltes Produkt durch eine Heizvorrichtung im Ofen erwärmt und auf Temperatur gehalten, so daß es überflüssig ist, bei der Plasmanitrierung Ionenstoß anzuwenden. Somit unterscheidet es sich von der Plasmanitrierung, wobei kein Zerstäuben durch Ionenstoß erforderlich ist, so daß sich die Oberflächenschicht ohne Adhäsion zerstäubter Teilchen ausbildet. Ferner ist es durch Steuerung der Zusammensetzungsverhältnisse der Zusammensetzung des Prozeßgases möglich, die Bildung einer weißen Verbindung in der Oberflächenverbindungsschicht zu unterdrücken.

Mit der Oberflächenbehandlungsvorrichtung wurde bei der vorliegenden Erfindung eine Oberflächenbehandlung durch Diffusion (Bildung einer nitrierten Schicht) verschiedenartiger Stähle ausgeführt. Als Ergebnis wurden die in **Fig. 6** und **7** gezeigten Strukturen und Oberflächenzustände erhalten. Dadurch wurde zur Ausbildung eines korrosionsbeständigen und verschleißfesten harten Überzugs eine optimale durch Diffusion oberflächenbehandelte Schicht geschaffen.

Eine nitrierte Schicht reagiert mit einem nitridbildenden Element, beispielsweise mit Cr, das dem Grundmaterial hinzugefügt wurde und in diesem in fester Lösung vorhanden ist, und bildet das Nitrid CrN. Deshalb ist in Stählen mit hohem Cr-Gehalt wie etwa rostfreien Stählen die durch den Zusatz von Cr verliehene Eigenschaft einer ausgezeichneten Korrosionsbeständigkeit abgeschwächt, da das Cr des Grundmaterials Nitrid bildet und somit die Cr-Konzentration herabgesetzt, weshalb aus dem rostfreien Stahl ein Stahl wird, der sich von rostfreiem Stahl unterscheidet. Dadurch verschlechtert sich die Korrosionsbeständigkeit geringfügig.

**Fig. 12** zeigt die Korrosionsbeständigkeit verschiedenartiger Materialien. Sie wird durch das natürliche Potential und das Pitting-(Lochfraß)-Potential in Lösungen von 13,5 Vol.-% Ethanol in Wasser bei einer Säureionenkonzentration mit einem Gesamtsäurewert von 0,13 mg KOH/g ausgedrückt. Je größer das natürliche Potential und das Pitting-Potential sind, desto ausgezeichneter ist die Korrosionsbeständigkeit. Bei rostfreiem Stahl liegen sowohl das natürliche Potential als auch das Pitting-Potential in einem oberen Bereich, der eine ausgezeichnete Korrosionsbeständigkeit zeigt. Im Gegensatz dazu liegt legierter Werkzeugstahl JIS SKD11 und dessen Nitriermaterial in einem unteren Bereich des natürlichen Potentials und Pitting-Potenti-

als. Ein Nitriermaterial aus rostfreiem Stahl JIS SUS403 liegt ebenfalls in einem unteren Bereich, wobei festgestellt wurde, daß sich die Korrosionsbeständigkeit durch Nitrierung geringfügig verschlechtert.

Bei der erfundungsgemäßen Kraftstoffpumpe wird bezüglich des Kraftstoffs angenommen, daß dem Benzin Methanol und Ethanol zugesetzt wurde, also minderwertiges Benzin oder dergleichen verwendet wird. Bei einem solchen Benzin muß infolge der Vermischung mit Wasser, Säurekomponenten oder dergleichen die Oxidationswirkung des Materials berücksichtigt werden. Das heißt, daß die Möglichkeit besteht, daß ein Verschleißeffekt eintritt, wenn sich die Kontaktabschnitte eines Gleitmechanismusteils in oxidierender Atmosphäre befinden. In einem solchen Fall unterstützt die Atmosphäre den Verschleiß, wobei angenommen wird, daß das Maß des Verschleißes der Gleiteile ansteigt.

Fig. 13 zeigt die Säureionenkonzentration im Benzin, die das Maß des Verschleißes beeinflußt. Es sind die Abnutzungen durch Verschleiß an einem festen Teil bei einer Verschleißprüfung unter Hin- und Herbewegung gezeigt, wobei die Säureionenkonzentration im Benzin, das 13,5 Vol.-% Ethanol und 0,74 Gew.-% Wasser enthielt, variiert wurden. Aus Fig. 13 folgt, daß das Maß des Verschleißes nitrierter Materialien geringer als bei einer Kombination aus rostfreien Stählen ist, während die Korrosionsbeständigkeit verbessert ist. Jedoch tendiert bei jeder Materialkombination die Stärke der Abnutzung nach oben, wenn ein bestimmter Wert überschritten wird, da der Gesamtsäurewert (die Säureionenkonzentration) ansteigt. Somit wurde festgestellt, daß in einem Konzentrationsbereich, in dem die Stärke der Abnutzung zunimmt, Verschleiß durch Korrosion eintritt.

Aufgrund dieses Ergebnisses besteht in Fällen, in denen Benzin guter Qualität verwendet wird, kein Problem, jedoch ist es wichtig, auf das Material Wert zu legen, falls ein Kraftstoff verwendet wird, der offensichtlich korrodierend wirkt.

Wie in Fig. 5 gezeigt ist, ist bei der vorliegenden Erfahrung auf dem größten Teil der Oberfläche ein korrosionsbeständiger und verschleißfester harter Überzug ausgebildet. Als korrosionsbeständiger und verschleißfester harter Überzug werden gemäß einem Gegenstand der Erfindung TiC, WC und SiC als Carbide, TiN, CrN, BN, TiAlN als Nitride und Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> als Oxid gewählt, wobei der harte Überzug durch PVD ausgebildet wird, bei dem sich im Niedertemperaturbereich durch die starke Adhäsion ein dichter Überzug bilden kann.

Fig. 11 sind Blockschaltbilder, die jeweils eine Prozeßvorrichtung zur Ausbildung korrosionsbeständiger und verschleißfester harter Überzüge zeigt. In Fig. 11 ist als Ionplating-Verfahren das Lichtbogen-Ionplating gezeigt, jedoch kann jeder andere Typ beispielsweise der Hohlkatodentyp, der Lichtbogenentladungstyp oder der Zerstäubungstyp verwendet werden.

Das Lichtbogen-Ionplating erzeugt eine Vakuum-Lichtbogenentladung zwischen einer Katode, die aus einem Material zusammengesetzt ist, das verdampft und einen Überzug bildet, und einer Anode unter einem Strom von einigen 10 bis einigen 100 A und einer Spannung von 15–30 V in einem Vakuumofen mit einer Niederdruck-Gasatmosphäre von bis zu einigen 10 Pa. Der Vakuumlichtbogen ist dadurch gekennzeichnet, daß an einer Verdampfungsoberfläche der Katode ein Lichtbogenpunkt auftritt, auf den sich der Entlaststrom konzentriert. Der Durchmesser des Lichtbogenpunkts wird auf ungefähr 10 µm geschätzt, wobei sich auf den sehr kleinen Bereich ein großer Strom konzentriert, so daß eine hohe Temperatur von  $4 \times 10^3$ – $10^4$ °C erzeugt wird und die Katode augenblicklich verdampft. Der Lichtbogenpunkt bewegt sich in zufälliger Weise mit hoher Geschwin-

digkeit über eine Verdampfungsoberfläche der Katode, so daß unabhängig davon, daß der Punkt eine sehr hohe Temperatur besitzt, das Katodenmaterial (Ziel), das gekühlt wird, fest bleibt. Deshalb ist es bei Anwendung der Vakuum-Lichtbogenentladung möglich, für das durch Sublimation bedingte Bedampfen Dampf aus einem festen Ziel zu erzeugen.

Bei der Vorrichtung nach Fig. 11 werden eine Vakuum-Lichtbogen-Bedampfungsquelle, die durch Vakuum-Lichtbogenentladung ein Ziel verdampft, und ein Substrat, das mit ionisiertem Dampf umgeben ist, der von einem Lichtbogen erzeugt wird, in den Vakuumofen gestellt. An das Substrat wird eine negative Vorspannung angelegt, wodurch Ionen, die das Substrat erreichen, beschleunigt werden, so daß sie eine geeignete Energie besitzen, wobei die Eigenschaften des dadurch gebildeten Überzugs gesteuert werden. Im Vakuumofen ist eine Versorgungsleitung für Gas vorgesehen; beispielsweise wird während dem Bedampfen mit Ti N<sub>2</sub>-Gas eingeführt, wodurch es möglich ist, eine reaktive Beschichtung zur Bildung eines TiN-Überzugs auszubilden.

Grundsätzlich kann jedes Material als Ziellmaterial für das Bedampfungsmaßmaterial verwendet werden, solange es ein festes Material mit elektrischer Leitfähigkeit ist; beispielsweise können ein Metallmaterial, leitfähige Keramiken, Graphit usw. verwendet werden.

Durch eine solche Vorrichtung ausgebildete korrosionsbeständige und verschleißfeste harte Überzüge besitzen aufgrund der Dichte und der nicht-metallischen Eigenschaften des Ganzen eine ausgezeichnete Korrosionsbeständigkeit. Beispielsweise liegt hinsichtlich der Korrosionsbeständigkeit das CrN (das Grundmaßmaterial ist JIS SKD11) in Fig. 12 in einem Bereich, in dem das natürliche Potential und das Pitting-Potential höher ist als bei verschiedenartigen Stählen, die sich von JIS SUS304 unterscheiden, und eine ausgezeichnete Korrosionsbeständigkeit besitzt. Ferner sei angemerkt, daß es hinsichtlich der Korrosionsbeständigkeit gegenüber dem Grundmaßmaterial JIS SKD11 wesentlich verbessert ist.

Der korrosionsbeständige und verschleißfeste harte Überzug besitzt die Wirkung, daß er das Metallübertragungssphänomen, das zwischen dem Überzug und einem Material, das mit diesem in Kontakt ist, eintritt, unterdrückt, keine Adhäsion und kein Fressen zuläßt und einen kleinen Reibwiderstand besitzt, so daß die Anfangsabnutzung, die Dauerabnutzung, das Fressen usw. verhindert werden. Deshalb besitzt er in Fig. 13 im Vergleich zur Abnutzung verschiedenartiger Materialien durch Verschleiß einen kleinen Wert. Ferner ist sein Beitrag zu Korrosion und Verschleiß gering. Somit kann es für Gleitelemente in Benzin, das eine korrodierende Umgebung hervorruft, verarbeitet werden.

Fig. 14 zeigt Einzelheiten eines Teils der Ausführungsform 1. Durch den Einlaßraum 15, den Verbindungs durchgang A 16 und die Gegenbohrung 51, die jeweils in dem Zylinderblock 12 ausgebildet sind, und ferner durch die Einführungsbohrung 19 und das Einlaßventil 24 fließt in der oben angegebenen Reihenfolge Benzin in die Pumpenkammer, wobei das Benzin unter Druck gesetzt wird. In diesem Fall sind der Kraftstoff und das Öl während der Hin- und Herbewegung des Tauchkolbens 11 durch die im Tauchkolben 12 vorgesehene Dichtung 17 getrennt. Als Maßnahmen gegen den Verschleiß des Tauchkolbens 11, der auf der Dichtung 17 (die elastisch und z. B. aus Gummi ist) gleitet, und gegen den Verschleiß des Tauchkolbens 11, der in der Zylinderbohrung 13 gleitet, ist eine oberflächenbehandelte Schicht 11a ausgebildet, die aus einer durch Diffusion oberflächenbehandelten Schicht und einem korrosionsbeständigen und verschleißfesten harten Überzug zusammengesetzt ist.

Wie in Fig. 5(a) gezeigt ist, sind auf der oberflächenbehandelten Oberfläche 11a des Tauchkolbens 11 in der vorliegenden Ausführungsform ein korrosionsbeständiger und verschleißfester harter Überzug und eine durch Diffusion behandelte Oberflächenschicht I ausgebildet. Das Grundmaterial ist legierter Werkzeugstahl JIS SKD11, wobei die durch Diffusion oberflächenbehandelte Schicht I in einer nitrierten Schicht von 50 µm ausgebildet ist, wie in Fig. 10(b) gezeigt ist. Durch die Behandlungsvorrichtung aus Fig. 11 wurde auf der Oberfläche CrN von 4 µm ausgebildet.

Andererseits gleiten die Taumelscheibe 9 und die Gleitteile 10 mit hoher Umlaufgeschwindigkeit innerhalb der Schrägkammer 38, die zwischen dem Körper 5 und dem Zylinderblock 12 ausgebildet ist, in Öl. Eine Kombination aus Materialien ist ebenfalls wichtig.

Als Material für die Taumelscheibe können ein oberflächenbehandeltes Material aus legierten Stählen für Maschinenbauzwecke, Gußeisen und deren oberflächenbehandeltes Material verwendet werden. Als Oberflächenbehandlung für legierte Stähle für Maschinenbauzwecke kann karburierter und abgeschreckter Chrommolybdän-Stahl SCM415 verwendet werden. Als Gußeisen können Graugußeisen, modulares Graphit-Gußeisen oder jedes Gußeisen verwendet werden, bei dem das Grundmaterial durch Abschrecken oder Zwischenstufen-Vergütung verfestigt wurde oder eine Oberflächenbehandlung durchgeführt wurde. Eine Oberflächenbehandlung wird an einer nitrierten Schicht, einer karbonisierten Schicht, einer weichnitrierten Schicht, einer im Salzbad weichnitrierten Schicht, einer karburierten und abgeschreckten Schicht oder an deren durch Laminierung behandelten Schicht ausgeführt.

Als Material für die Gleitteile kann eine Aluminiumlegierung, eine Kupferlegierung, eine Sinterlegierung, legierter Werkzeugstahl, rostfreier Stahl und deren oberflächenbehandeltes Material verwendet werden. Unter den Aluminiumlegierungen gibt es eine Legierung A390 mit hohem Si-Gehalt usw. Als Kupferlegierungen und Sinterlegierungen können verschiedenartige verschleißfeste Materialien verwendet werden.

Bei den legierten Werkzeugstählen JIS SKD61 und JIS SKD11 kann die Härte ihres Grundmaterials durch Abschrecken und Temperiern erhöht werden. Deshalb besitzt das Material eine ausreichende Festigkeit, Haltbarkeit und Verschleißfestigkeit. Da ferner die legierten Werkzeugstähle jeweils ungefähr 5–13% Cr usw. des diesem zugegebenen nitridbildenden Elements enthalten, erreicht die Härte einer nitrierten Schicht durch allgemeine Nitrierung über 1000 Hv, wobei eine harte Oberflächenschicht ausgebildet und durch Nitrierung geschaffen werden kann. Bezuglich der Härteverteilung ist die Härte an der Oberfläche hoch und nimmt nach innen allmählich ab. Jedoch nimmt die Härte in einem Material JIS SKD11 wegen der Wärmehistorie der Nitrierung im Vergleich zur Abschreckung und Temperung leicht ab.

Rostfreien Stahl betreffend wird beispielsweise JIS SUS403 verwendet. Das Material JIS SUS403 lässt sich ausgezeichnet schneiden und kann in einem Niedertemperaturbereich plastisch verschoben und durch eine Preßmaschine oder dergleichen in Produktformen geformt werden, da die Härte des wärmebehandelten Grundmaterials 190 HV beträgt und im unteren (weichen) Bereich liegt. Deshalb besitzt es eine ausgezeichnete Ergiebigkeit. Da jedoch der Kohlenstoffgehalt gering ist, beträgt die Härte, selbst dann, wenn das Abschrecken und Temperiern ausgeführt wurde, ungefähr 300 Hv und liegt im unteren (weichen) Bereich. Um eine Verschleißfestigkeit zu erzielen, wird deshalb eine Oberflächenbehandlung vorgenommen. Das Material JIS SUS403 besitzt beispielsweise 13% seiner Legierungszu-

sammensetzung zugesetztes Cr des nitridbildenden Elements, weshalb die Härte einer nitrierten Schicht durch Nitrierung über 1000 Hv erreicht.

Fig. 15 zeigt Abschnitte des Gleitteils 10, bei dem eine Oberflächenbehandlung vorgenommen wurde. Material und Spezifikation sind wie folgt.

In Fig. 15(a) ist eine oberflächenbehandelte Schicht 10a des Gleitteils lediglich auf derjenigen Gleitseite, mit der die pendelnde Taumelscheibe 9 gleitet, ausgebildet. In Fig. 15(b) ist die oberflächenbehandelte Schicht 10a des Gleitteils 10 auf einer Vorderfläche ausgebildet, wobei sie außerdem auf einem Gleitabschnitt, der sich auf den Tauchkolben 11 bezieht, ausgebildet ist. In Fig. 15(c) ist eine oberflächenbehandelte Schicht 9a der Taumelscheibe 9 ausgebildet. In Fig. 15(d) sind auf der Taumelscheibe 9 und dem Gleitteil 10 oberflächenbehandelte Schichten 9a bzw. 10a ausgebildet.

Als oberflächenbehandelte Schichten 9a, 10a kann auch eine behandelte Struktur, wie sie in Fig. 5 gezeigt ist, aufgebracht werden. Ferner kann eine nitrierte Schicht, eine karbonisierte Schicht, eine weichnitrierte Schicht, eine im Salzbad weichnitrierte Schicht, eine karburierte und abgeschreckte Schicht oder eine von diesen Schichten, die durch Laminierung behandelt wurde, als Schicht verwendet werden, die sich von jener in Fig. 5 unterscheidet.

Um beispielsweise die Oberflächenhärte der Taumelscheibe 9 größer als die des Gleitteils 10 zu machen, wird eine Nitridschicht 9a der Taumelscheibe durch Plasmanitrierung von JIS SUS403 ausgebildet. Die Behandlungsbedingungen sind folgende: Temperatur: 530°C, Zeit: 7 Stunden, Gaszusammensetzung: N<sub>2</sub>/H<sub>2</sub> gleich 1/3, Druck (Pirani): 40 Torr. Die Härte der Nitridschicht beträgt über 900 Hv, wobei die Tiefe des Überzugs 0,1 mm (über 500 Hv) beträgt. Nach der Nitrierung wird ein Trommelschleifen ausgeführt, um vom größten Teil der Oberfläche feine Partikel zu entfernen und die Oberflächenglattheit zu verbessern. In einem solchen Fall kann ferner die Härte der Nitridschicht 10a des Gleitteils dieselbe wie jene der Pendelscheiben-Nitridschicht 9a sein.

Eine vorzunehmende Haltbarkeitsprüfung der Pumpe mit Taumelscheibe und axialem Tauchkolben, die wie voransteckend aufgebaut war, wurde ausgeführt und ist in Fig. 1 gezeigt.

Im Ergebnis arbeitete die Pumpe ohne Anomalien, wobei stabile Werte der Durchflußleistung der Benzinförderung erzielt wurden. Nach der Prüfung wurde die Pumpe zerlegt und jedes Teil in der Kraftstoffkammer untersucht, wobei als Ergebnis an keinem der Teile ein ungewöhnlicher Verschleiß eintrat, sondern die Teile in einem Zustand durch Dauerverschleiß waren.

Andererseits trat ohne jegliche Behandlung ein geringer Verschleiß an den Gleitabschnitten zwischen dem Außen-durchmesserabschnitt des Tauchkolbens 11 und der Dichtung 17 auf.

Bei der gemäß der vorliegenden Erfindung konstruierten Kraftstoffpumpe haften die Gleitteile nur schwerlich aneinander, wobei die Verschleißfestigkeit verbessert ist. Da eine aus einem korrosionsbeständigen und verschleißfesten Überzug und einer durch Diffusion oberflächenbehandelten Schicht zusammengesetzte oberflächenbehandelte Schicht ausgebildet wurde, ist sie selbst unter hohem Oberflächen-Druck nur schwerlich abzutrennen und besitzt die Eigenschaft einer ausgezeichneten Korrosionsbeständigkeit. Die Verschleißfestigkeit in einer aggressiven Umgebung wird durch diese Eigenschaften verbessert, wodurch eine aufgabengemäße Kraftstoffpumpe geschaffen werden kann.

## AUSFÜHRUNGSFORM 2

Die vorliegende Ausführungsform bezieht sich auf eine Kraftstoffpumpe mit radialem Tauchkolben (Einzylindertyp).

Die Radialtauchkolben-Kraftstoffpumpe besitzt eine Welle, die die Antriebskraft eines Motors überträgt, einen Antriebsnocken, der die Rotation der Welle in eine Pendelbewegung umwandelt, einen Tauchkolben, der sich durch die Rotation des Antriebsnockens über eine Nockenscheibe hin und her bewegt, und eine Zylinderbohrung, die in Verbindung mit dem Tauchkolben Kraftstoff aufnimmt und abgibt, wobei eine durch Diffusion oberflächenbehandelte Schicht und ein korrosionsbeständiger und verschleißfester harter Überzug auf einer Oberfläche eines der Elemente des Mechanismusteils, der mit Kraftstoff geschmiert wird und gleitet, sowie auf einem Pumpenteil ausgebildet ist.

**Fig. 16** und **Fig. 17** zeigen Einzelheiten der Radialtauchkolben-Kraftstoffpumpe der Erfindung. **Fig. 16** ist ein vertikaler Schnitt der Kraftstoffpumpe, während **Fig. 17** ein Kraftstoff-Einspritzsystem, das die vorliegende Ausführungsform verwendet, zeigt.

Ein Pumpenkörper **100** ist mit einem Einlaßdurchgang **110**, einem Auslaßdurchgang **111** und einer Druckkammer **112** versehen. Ein Einlaßventil **105** und ein Auslaßventil **106** sind an dem Einlaßdurchgang **110** und dem Auslaßdurchgang **111** vorgesehen, wobei sie jeweils durch eine Feder **105a** und eine Feder **106a** gezwungen werden, sich auf einer Seite zu halten, wodurch Absperrventile gebildet werden, um Fließrichtungen des Kraftstoffs zu sperren.

Hierbei wird der Tauchkolben **102** als Druckelement in der Druckkammer gleitbar gehalten. Eine am unteren Ende des Tauchkolbens **102** vorgesehene Nockenscheibe **103** wird durch eine Feder **104** gegen einen Nocken **200** gedrückt. Der Tauchkolben **102** wird durch den Nocken **200**, die durch eine Motornockenwelle oder dergleichen gedreht wird, hin und her bewegt, um den Hubraum der Druckkammer **112** zu verändern. Wenn das Einlaßventil **105** während des Verdichtungshubs des Tauchkolbens **102** geschlossen wird, steigt der Druck in der Druckkammer **112** an, wodurch das Auslaßventil **106** automatisch geöffnet wird, Kraftstoff unter Druck gesetzt und an eine gemeinsame Verbindung abgegeben wird. Das Einlaßventil **105** wird automatisch geöffnet, wenn der Druck in der Druckkammer **112** niedriger als jener an einer Kraftstoffzuführöffnung wird, jedoch wird das Schließen des Ventils durch die Funktion eines Tauchmagneten **300** bestimmt.

Der Tauchmagnet **300** ist in dem Pumpenkörper **100** angebracht. Der Tauchmagnet **300** besitzt ein Eingriffselement **301** und eine darin angeordnete Feder **302**. Das Eingriffglied **301** wird durch die Feder **300** so gezwungen, daß es das Einlaßventil **105** öffnet, wenn der Tauchmagnet **300** ausgeschaltet ist. Die Zwangskraft der Feder **302** ist größer als die Zwangskraft der Einlaßventil-Feder **105a** ausgelegt, so daß das Einlaßventil **105** in einem geöffneten Zustand ist, wenn der Tauchmagnet **300** eingeschaltet ist, wie in **Fig. 16** gezeigt ist.

Der Stromfluß zum Tauchmagneten **300** wird so gesteuert, daß dann, wenn vom Pumpenkörper **100** Hochdruck-Kraftstoff zugeführt wird, der Tauchmagnet **300** eingeschaltet wird (Stromfluß), und dann, wenn die Kraftstoffzufuhr gestoppt wird, der Tauchmagnet **300** ausgeschaltet wird.

Wenn der Tauchmagnet **300** eingeschaltet bleibt (Stromfluß), wird eine elektromagnetische Kraft, die größer als die Zwangskraft der Feder **302** ist, erzeugt, um das Eingriffselement **301** gegen den Tauchmagneten **300** zu ziehen, so daß das Eingriffselement **301** und das Einlaßventil **105** getrennt werden. Unter dieser Bedingung wird das Einlaßventil **105**

zu einem automatischen Ventil, das synchron mit der Hin- und Herbewegung des Tauchkolbens **102** öffnet und schließt. Somit wird das Einlaßventil **105** während des Verdichtungshubs geschlossen, weshalb dadurch, daß das Auslaßventil nach oben gedrückt wird, durch Verkleinerung des Hubraums der Druckkammer **112** Kraftstoff an die gemeinsame Verbindung abgegeben wird.

Wenn andererseits der Tauchmagnet **300** ausgeschaltet bleibt (kein Stromfluß), ist das Eingriffselement **301** durch die Zwangskraft der Feder **302**, die das Einlaßventil **105** geöffnet hält, mit letzterem in Eingriff. Somit wird der Druck in der Druckkammer **112** auf einem niedrigen Wert gehalten, der selbst während des Verdichtungshubs im wesentlichen gleich jenem an der Kraftstoffzuführöffnung ist, so daß das Auslaßventil nicht geöffnet werden kann und Kraftstoff entsprechend der Abnahme des Hubraums der Druckkammer **112** durch das Einlaßventil **105** in Richtung der Kraftstoffzuführöffnung zurückgeführt wird.

Ferner wird ab dem Zeitpunkt, in dem der Tauchmagnet **300** durch den Verdichtungshub in einen Durchlaßzwischenraum gebracht wird, an die gemeinsame Verbindung **153** Kraftstoff abgegeben. Ferner erhöht sich der Druck in der Druckkammer **112**, sobald die Kraftstoffabgabe beginnt, so daß das Einlaßventil **105**, obwohl der Tauchmagnet **300** ausgeschaltet wurde, anschließend geschlossen bleibt und synchron mit dem Beginn des Ansaughubs automatisch geöffnet wird.

Als nächstes wird mit Bezug auf **Fig. 17** der Aufbau eines Kraftstoffversorgungssystems, das die vorliegende Ausführungsform verwendet, erläutert.

Durch eine Niederdruckpumpe **151** wird über die Kraftstoffzuführöffnung des Pumpenkörpers Kraftstoff in einen Behälter **150** eingeführt, wobei der Druck des Kraftstoffs durch einen Druckregler **152** auf einen konstanten Druck eingestellt wird. Danach wird der Kraftstoff durch den Pumpenkörper **100** unter Druck gesetzt und zwangsläufig über die Kraftstoffabgabeöffnung an die gemeinsame Verbindung **153** abgegeben. An der gemeinsamen Verbindung **153** sind Einspritzdüsen **154**, ein Sicherheitsventil **155** und ein Drucksensor angebracht. Die Anzahl von Einspritzdüsen **154** entspricht der Anzahl der Zylinder, wobei jede Einspritzdüse als Antwort auf ein Signal von einer Motorsteuerseinheit (ECU = engine control unit) Kraftstoff einspritzt. Ferner öffnet das Sicherheitsventil **155**, wenn der Druck in der gemeinsamen Verbindung **153** einen vorgegebenen Wert übersteigt, wodurch Leitungsbruch verhindert wird.

Hierbei ist die Oberflächenstruktur des Tauchkolbens **102** wie in **Fig. 5** gezeigt ausgebildet. **Fig. 18** zeigt Einzelheiten eines Teils der Ausführungsform 2. Vom Einlaßventil **105** wird Benzin als Kraftstoff zugeführt und in die Druckkammer **112** eingeführt. Das Benzin wird in der Druckkammer **112** unter Druck gesetzt, wodurch das Benzin durch einen umfanglichen Spalt zwischen einer Gleitbohrung **108a** an einem Innendurchmesserabschnitt des Zylinders **108** und dem darin gleitenden Tauchkolben **102** nach außen fließt. Das Entweichen von Benzin wird durch Abdichten des umfanglichen Spalts mit einer Dichtung **120** minimiert.

Die durch das Gleiten zwischen dem Zylinder und dem Tauchkolben und zwischen dem Tauchkolben und der Dichtung bedingten Verschleißzustände gleichen jenen in der Ausführungsform 1. Als Maßnahmen gegen den Verschleiß der Dichtung **120** (elastisches Element, beispielsweise aus Gummi) und des Tauchkolbens **102** und gegen den Verschleiß des Tauchkolbens **102** und der Gleitbohrung **108a** des Zylinders besitzt der Tauchkolben **102** eine oberflächenbehandelte Schicht **102a**, die aus einer durch Diffusion oberflächenbehandelten Schicht und einem darauf ausgebildeten korrosionsbeständigen und verschleißfesten harten Überzug

zusammengesetzt ist.

In der vorliegenden Ausführungsform ist die oberflächenbehandelte Schicht 102a des Tauchkolbens 102 aus einem korrosionsbeständigen und verschleißfesten harten Überzug, wie er in Fig. 5(a) gezeigt ist, und einer durch Diffusion oberflächenbehandelten Schicht I zusammengesetzt. Ein Grundmaterial ist legierter Werkzeugstahl JIS SKD11, wobei die durch Diffusion oberflächenbehandelte Schicht I eine Nitridschicht von 100 µm besitzt, die wie in Fig. 10(b) ausgebildet ist. Durch die Behandlungsvorrichtung nach Fig. 11 wird auf der Oberfläche CrN von 5 µm ausgebildet.

In der vorliegenden Ausführungsform ist die Dichtung 120, die aus einem elastischen Material gefertigt ist, auf dem äußeren Begrenzungsabschnitt des Tauchkolbens 102 vorgesehen, um zu verhindern, daß Öl für die Schmierung des Nockens 200 in die Pumpe fließt, und zu verhindern, daß Kraftstoff aus der Pumpe nach außen fließt. In der vorliegenden Ausführungsform ist die Dichtung 120 mit einem Metallrohr 120a einteilig ausgebildet und in den Pumpenkörper 100 eingepreßt. Es können beliebige Befestigungsverfahren angewandt werden.

Ferner ist die Druckkammer 112 durch den Zylinder 108 gebildet, wobei die Gleitbohrung den Tauchkolben 102 so führt, daß er sich hin und her bewegen kann. Der Innendurchmesserabschnitt des Zylinders 108 ist aus einer sich erstreckenden Innenwand 108b, die die Druckkammer bildet, und der Gleitbohrung 108a mit einem umfänglichen Spalt von höchstens 10 µm zwischen dem Tauchkolben 102, wodurch das Entweichen von Kraftstoff aus der Druckkammer minimiert wird, zusammengesetzt.

Ferner ist in einem äußeren Begrenzungsabschnitt des Zylinders 108 ein vertikaler Durchgang 109 vorgesehen, der mit der Gleitbohrung 108a in Verbindung steht, wobei der vertikale Durchgang 109 mit dem Einlaßdurchgang 110, der mit der Kraftstoffzuführöffnung 110 durch den seitlichen Durchgang 110b verbunden ist, in Fluidverbindung steht.

Ein Absperrventil 400 zum Sperren der Fließrichtung vom Kraftstoffeinlaßdurchgang 110 zum vertikalen Durchgang 109 ist am Einlaß des seitlichen Durchgangs 110b vorgesehen.

Dadurch wird zugelassen, daß Kraftstoff, der durch den umfänglichen Spalt zwischen der Gleitbohrung 108a und dem Tauchkolben 102 aus der Druckkammer 112 fließt, in Richtung des Kraftstoffeinlaßdurchgangs 110 fließt, der ein Abschnitt mit Niederdruck ist, so daß der Druck der Dichtung 120 auf seiten der Kraftstoffkammer der gleiche Druck wie jener im Kraftstoffeinlaßdurchgang 110 wird, wodurch verhindert werden kann, daß der Kraftstoff nach außen entweicht, ohne die Steifheit der Dichtung 120 stark zu erhöhen.

Ferner ist es dadurch, daß wie oben erwähnt der Ausfluß von Kraftstoff aus der Druckkammer 112 durch den Spalt des Gleitabschnitts des Tauchkolbens auf ein Minimum herabgesetzt werden kann, möglich, die Förderleistung der Pumpe während des normalen Betriebs zu erhöhen.

In der vorliegenden Ausführungsform sind die Hauptteile oder Hauptteile, die in Kraftstoff arbeiten, gleiten und korrosionsbeständig und verschleißfest sein müssen, das Einlaßventil und das Auslaßventil 106, die am Kraftstoffeinlaßdurchgang 110 und am Auslaßdurchgang 111 vorgesehen sind, der Tauchkolben 102 als Druckelement der Druckkammer 112 und der Zylinder 108 mit der Gleitbohrung, die den Tauchkolben so führt, daß er sich hin und her bewegen kann.

Insbesondere ist der umfängliche Spalt zwischen dem Tauchkolben 102 und dem Zylinder 108 höchstens 10 µm breit ausgebildet, um das Entweichen von Kraftstoff aus der Druckkammer zu minimieren. Deshalb kommt ein durch das Fressen bedingtes Festhängen oder Steckenbleiben oder

eine Verminderung der Pumpenleistung aufgrund der Vergrößerung des umfänglichen Spalts infolge eines ungewöhnlichen Verschleißes vor.

Als nächstes wird die Anwendung der vorliegenden Ausführungsform auf die anderen Verschleißteile gezeigt. Fig. 19 und Fig. 20 zeigen Einzelheiten von Teilen des Einlaßventils 105 bzw. Einzelheiten von Teilen des Auslaßventils 106.

Beim Einlaßventil 105 aus Fig. 19 wird durch die Kraftstoffzuführöffnung 110 Kraftstoff zugeführt und durch einen Spalt zwischen einer Kugel 142 und dem Einlaßventil 105 in die Druckkammer 112 aufgenommen, wenn sich ein Tauchkolbenstab 140 hin und her bewegt. In diesem Fall sind die Stellen, an denen der Verschleiß ein Problem wird, folgende: A: ein Kontaktabschnitt zwischen der Kugel 142 und dem Einlaßventil 105, B: ein Gleitabschnitt zwischen dem Einlaßventil 105 und einer Absperrventilführung 143, C: ein Aufnahmeabschnitt der Tauchkolbenführung 141 und des Einlaßventils 105 und D: ein Abstützabschnitt des Tauchkolbenstabs 140.

Vor dem Auslaßventil 106 aus Fig. 20 wird in der Druckkammer 112 Kraftstoff unter Druck gesetzt, um das Auslaßventil 106 zu öffnen und zu schließen, und dadurch abgegeben zu werden. In diesem Fall sind die Abschnitte, an denen der Verschleiß ein Problem wird folgende: E: ein Kontaktabschnitt zwischen dem Absperrventilsitz 107 und dem Auslaßventil 106 und F: ein Kontaktabschnitt zwischen dem Auslaßventil 106 und einem Absperrventilhalter 130.

Um Maßnahmen gegen den Verschleiß an jedem dieser Abschnitte zu treffen, ist auf jedem Abschnitt eine oberflächenbehandelte Schicht ausgebildet, die aus einer durch Diffusion oberflächenbehandelten Schicht und einem korrosionsbeständigen und verschleißfesten harten Überzug zusammengesetzt ist.

In der vorliegenden Ausführungsform sind auf dem Einlaßventil 105 aus Fig. 19 und dem Absperrventilsitz 107 aus Fig. 20 die oberflächenbehandelten Schichten 105a, 107a ausgebildet, die jeweils aus einem korrosionsbeständigen und verschleißfesten harten Überzug, wie er in Fig. 5(a) gezeigt ist, und einer durch Diffusion oberflächenbehandelten Schicht I zusammengesetzt sind. Ein Grundmaterial ist rostfreier Stahl JIS SUS420 J, wobei auf der durch Diffusion oberflächenbehandelten Schicht I durch die Behandlungsvorrichtung nach Fig. 11 eine Nitridschicht von 50 µm ausgebildet wird, wobei auf der Oberfläche CrN von 5 µm ausgebildet wird.

Die vorzunehmende Haltbarkeitsprüfung der Radialtauchkolbenpumpe aus Fig. 16, bei der die Innenseite der Kraftstoffkammer wie bei der vorherigen aufgebaut war, wurde ausgeführt.

Im Ergebnis arbeitete die Pumpe ohne Anomalien, wobei ein stabiler Wert der Durchflußleistung der Benzinförderung erzielt wurde. Nach der Prüfung wurde die Pumpe zerlegt und jedes Teil in der Kraftstoffkammer untersucht, wobei als Ergebnis an keinem der Teile ein ungewöhnlicher Verschleiß eintrat, sondern die Teile in einem Zustand durch Dauerverschleiß waren. Ferner war beim Einlaßventil 105 und dem Auslaßventil 106 der Verschleiß von Teilen an Verschleißstellen gering.

Andererseits trat ohne jegliche Behandlung ein geringer Verschleiß an den Gleitabschnitten zwischen dem Außen durchmesserabschnitt des Tauchkolbens 11 und der Dichtung 17 auf.

Bei der gemäß der vorliegenden Erfindung konstruierten Kraftstoffpumpe haften die Gleitteile nur schwerlich aneinander, wobei die Verschleißfestigkeit verbessert ist. Da eine aus einem korrosionsbeständigen und verschleißfesten Überzug und einer durch Diffusion oberflächenbehandelten

Schicht zusammengesetzte Oberflächenbehandelte Schicht ausgebildet wurde, ist sie selbst unter hohem Oberflächen- druck nur schwerlich abzutrennen und besitzt die Eigen- schaft einer ausgezeichneten Korrosionsbeständigkeit. Die Verschleißfestigkeit in einer aggressiven Umgebung wird durch diese Eigenschaften verbessert, wodurch eine aufga- bengemäße Kraftstoffpumpe geschaffen werden kann.

### AUSFÜHRUNGSFORM 3

Fig. 21 ist eine Schnittansicht einer Hochdruck-Kraft- stoffpumpe mit Taumelscheibe und axialem Tauchkolben einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfin- dung.

In Fig. 21 ist ein Gehäuse aus einem ersten Gehäuse 211 und einem zweiten Gehäuse 212 zusammengesetzt, wobei die Gehäuse durch Bolzen 213 zusammengebaut sind. Eine Innenseite des Gehäuses ist als Kurbelkammer 215 ausge- führt, in der eine Einlaßkammer 216 für Benzin und eine Hochdruck-Druckkammer 217 ausgebildet sind, wie später beschrieben wird. Am oberen Ende des ersten Gehäuses 211 ist ein Lager 219 vorgesehen, wobei eine Antriebswelle 220 durch das Lager 219 geführt wird. Die Antriebswelle 220 ist mit einem Motornocken (nicht gezeigt) verbunden und wird in wohlbekannter Weise angetrieben. An einem Ende der Antriebswelle 220 ist eine Taumelscheibe 221 angebracht, um durch die Rotation der Welle 220 eine Gleitbewegung zu bewirken, wobei sie durch ein Axiallager 220, das zwischen der Taumelscheibe und einer Innenfläche des Gehäuses angebracht ist, axial gelagert ist. In einer in der Innenseite der Taumelscheibe 221 vorgesehenen Aussparung ist ein Lager 223 vorgesehen, wobei ein Teil der Pendelscheibe 224 in der Aussparung aufgenommen ist, um durch das Lager 223 ge- füht zu werden.

Die Pendelscheibe 224 ist durch das Radiallager 223 und das Axiallager 225 mit der Taumelscheibe 221 gekoppelt. Die Pendelscheibe 224 wird durch die Rotation der Taumel- scheibe 221, die durch die Rotation der Antriebswelle 220 bewirkt wird, in Schwingung versetzt.

Gegenüber der Pendelscheibe 225 ist ein Zylinderblock 230 angeordnet, wobei zwischen diesen ein Abstand be- steht, wobei der Zylinderblock 230 mit fünf Tauchkolben 231, einem Druckregler 232 und einer Druckfreigabebohrung 233 versehen ist und mit dem zweiten Gehäuse 212 durch Bolzen 214 zusammengebaut ist.

Eine obere Federbalgkappe 234 ist an der Pendelscheibe 224 befestigt, während eine untere Federbalgkappe 235 am Zylinderblock 230 befestigt ist. Durch die oberen und unteren Federbalgkappen 234 und 235 wird ein Federbalg 236 gehalten. Der Federbalg trennt eine Mechanismuskammer 237, die einen Mechanismusteil enthält, der die Rotation der Antriebswelle 220 in der Kurbelkammer 215 umwandelt, von der Einlaßkammer 216, die mit abzugebendem Benzin gefüllt wird. In der Mechanismuskammer 237 ist Öl oder Fett zur Schmierung des Mechanismusteils eingeschlossen. Das Bezugszeichen 238 bezeichnet einen Ölstopfen, der nach dem Einfüllen von Öl angebracht wird.

Die Tauchkolben 231 sind jeweils aus einem Tauchkolbenkopf 240 in einem Zylinder, oberen und unteren Federn 241 und 242, einer Kugel 243 und einer Federhalterung 244 zusammengesetzt, wobei Gleitteile 245, wovon jedes eine Form besitzt, die zu einer kugelförmigen Spitze des Tauchkolbenkopfes paßt, angeordnet sind. Jeder Tauchkolbenkopf 240 besitzt eine Bohrung, die axial durch ihn verläuft und mit der Druckkammer 217 über einen Durchgang in jedem Tauchkolben 231 in Verbindung steht. An einem Auslaß des Durchgangs zur Druckkammer 217 sind eine Bohrung und ein Absperrventil 246, das die Bohrung durch eine Kugel

drosselt, in dem Zylinderblock 230 ausgebildet. Deshalb wird das in die Einlaßkammer 216 eingefüllte Benzin durch die in dem Gleitteil 245 gebildete Rille und den Durchgang des Tauchkolbens übertragen und durch Niederdrücken des Absperrventils 246 in die Druckkammer 217 abgegeben. In diesem Fall wird diese Operation abwechselnd von den fünf Tauchkolben ausgeführt. Zur Sicherheit ist an der Druckfrei- gabebohrung 233 ein ähnliches Absperrventil 247 vorgese- hen, das so ausgeführt ist, daß es eine in dem Zylinderblock 10 ausgebildete Bohrung durch eine Kugel verschließt.

Der Druckregler 232 ist aus einem Halterungselement 251, das in dem im Zylinderblock 230 ausgebildeten Zylinder 250 angeordnet ist, das eine darin ausgebildete Verbin- dungsbohrung besitzt und an dem Block 230 befestigt ist, wobei die Position in bezug auf den Zylinderblock 230 durch einen Schraubmechanismus und einen Drehmecha- nismus, der diesen dreht, eingestellt wird, einem Überdruck- Kugelventil 254 zum Verschließen/Öffnen einer Ventilbohrung 253, die mit dem Zylinder 250 und der Druckkammer 217 in Verbindung steht, einer Aufnahme 255 für das Über- druck-Kugelventil 254 und einer Feder 256, die zwischen der Aufnahme 255 und der Halterungsstufe 251 so angeord- net ist, daß sie gegen diese drückt, zusammengesetzt. Das Überdruck-Kugelventil 254 besitzt eine Kugel, die mit einer 25 Aufnahmesitzfläche der Kugelbohrung 253 in Kontakt ist, wobei die Kugel durch einen in der Aufnahme 255 vorgese- henen konkaven Abschnitt gehalten wird. Die Aufnahme 255 besitzt eine in ihr ausgebildete Verbindungsbohrung 258. Durch einen Spalt zwischen der Aufnahme 255 und ei- 30 ner Oberfläche des Zylinders 250 kann Benzin fließen.

Das Überdruck-Kugelventil 254 wiederholt das Schlie- ßen und Öffnen gemäß der Pendelbewegung der Pendel- scheibe 224, wobei in die Druckkammer 217 Benzin abge- geben wird. In diesem Fall wird die Abgabe unstetig gere- 35 gelt.

Durch eine Förderpumpe (nicht gezeigt), die in einem Kraftstoffbehälter (nicht gezeigt) vorgesehen ist, wird durch einen Einlaßdurchgang 260 Benzin, das auf einen Druck von 0,3 MPa gebracht wurde, in die Einlaßkammer 216 auf- genommen, auf einen Druck von 3 MPa oder mehr gebracht und in die Hochdruck-Druckkammer 217 abgegeben. Das zur Druckkammer 217 geförderte Benzin wird durch einen Auslaßdurchgang 161 zum Motor (nicht gezeigt) geleitet.

Bei der vorliegenden Erfindung sind die Gleitabschnitte 40 die Pendelscheibe 224 und das Gleitteil eines Abschnitts, der die Pendelbewegung in eine Hin- und Herbewegung umwandelt, das Gleitteil 245 und der Tauchkolben 231 (Tauchkolbenkopf 240), wobei sich der Tauchkolben 231 und der Zylinder 229 eines Tauchkolbenabschnitts hin und her bewegen, wobei die Materialstrukturen wie folgt sind.

Die Pendelscheibe 224 und das Gleitteil 245 gleiten ge- 45 geneinander an einer flachen Oberfläche, wobei durch die im Gleitteil 245 ausgebildete Rille Benzin zugeführt wird. Die Pendelscheibe 224 besteht aus einem Material, dessen Härte größer oder im wesentlichen gleich jener des Gleit- teils 245 ist.

Das Gleitteil 245 und der Tauchkolben 231 sind in einem Punkt an dem konkaven kugelförmigen Abschnitt des Gleit- teils 245 und dem konvexen kugelförmigen Abschnitt des 50 Tauchkolbenkopf 240 miteinander in Kontakt, so daß dieser Kontaktabschnitt einem starken Oberflächendruck ausgesetzt ist. Durch den im Gleitteil 245 vorgesehenen Verbin- dungsduchgang wird Benzin zugeführt. Das Gleitteil 245 besteht aus einem Material, dessen Härte im wesentlichen gleich jener des Tauchkolbenkopfs 240 ist oder das weicher als dieses ist.

Der Tauchkolben 231 und der Zylinder 229 sind so ange- ordnet, daß sie mit einem Spalt von etwa einigen µm zwi-

schen der Außendurchmesserschäfte des Tauchkolbens 231 und dem Zylinder 229 gleiten. Dem Gleitabschnitt wird von seiten des Tauchkolbenkopfs 240 Benzin zugeführt.

Als Grundmaterialien der Pendelscheibe 224, des Gleitteils 245, des Tauchkolbens 231 und des Zylinders 229 können vergütete rostfreie Martensitstähle JIS SUS440C, JIS SUS420J2 und JIS SUS403 verwendet werden. Ebenso können vergütete legierte Werkzeugstähle JIS SKD61 und JIS SKD11 verwendet werden. Als Oberflächenbehandlung jener Materialien wird die Nitrierung ausgeführt.

JIS SUS440C und JIS SUS420J2 sind vergütet, so daß die Härte des Grundmaterials 500–600 Hv beträgt. Die Materialien besitzen als rostfreier Stahl eine ausgezeichnete Korrosionsbeständigkeit.

Da das Material JIS SUS403 selbst nach einer ausgeführten Vergütung einen geringen Kohlenstoffgehalt besitzt, liegt die Härte bei ungefähr 300 Hv und somit im unteren (weichen) Bereich. Deshalb wird die Nitrierung als Oberflächenbehandlung angewandt, um die Verschleißfestigkeit zu erhöhen.

Jedoch ist das Material JIS SUS403 mit bis zu 190 Hv in dem geläuterten Grundmaterial vor der Vergütung zur Verbesserung der Verschleißfestigkeit weich, so daß es ausgezeichnet verschritten werden kann und in einem Niedrigtemperaturbereich plastisch verkleinert und durch Druckarbeit oder dergleichen in Produktformen geformt werden kann. Deshalb besitzt es eine ausgezeichnete Ergiebigkeit. Da die Härte des Grundmaterials andererseits mit bis zu 190 Hv im unteren (weichen) Bereich liegt, ist die Verschleißfestigkeit gering. Deshalb wird die Nitrierung angewandt, da es notwendig ist, die Verschleißfestigkeit herzustellen.

Da den Legierungszusammensetzungen des Materials JIS SUS403 ungefähr 13% Cr eines nitridbildenden Elements hinzugefügt wird, erreicht die Härte einer Nitridschicht durch allgemeine Nitrierung über 1000 Hv. Hinsichtlich der Härteverteilung ändert sich innerhalb der Nitridschicht die Härte nur geringfügig, wobei die Härte nach dem Rand stark abnimmt und die Härte des Grundmaterials erreicht.

Die Härte der legierten Werkzeugstähle JIS SKD61 und JIS SKD11 kann durch Vergütung erhöht werden. Deshalb besitzen die Materialien selbst unter einem hohen Oberflächendruck eine Festigkeit und Haltbarkeit, wobei sie ebenfalls eine gute Verschleißfestigkeit besitzen.

Die legierten Werkzeugstähle enthalten jeweils ein nitridbildendes Element, Cr von ungefähr 5–13%, so daß die Härte einer Nitridschicht durch allgemeine Nitrierung über 1000 Hv erreicht, wobei eine harte Oberflächenschicht durch die Nitrierung geschaffen werden kann. Hinsichtlich der Härteverteilung ist die Härte an der Oberfläche groß und nimmt nach innen allmählich ab. Jedoch ist beim Material JIS SKD11 die Härte des Grundmaterials infolge der Wärmehistorie der Nitrierung etwas geringer.

Als nächsten werden Beispiele der Oberflächenbehandlung jedes Teils beschrieben.

Die bei der vorliegenden Erfindung angewandte Oberflächenbehandlung ist die Nitrierung. Bis heute bekannte allgemeine Nitrierverfahren sind folgende:

(1) Das Gas-Nitrierverfahren mit Erzeugung aktiven N (Stickstoffs) durch katalytische Reaktion von NH<sub>3</sub>-Gas auf einer Stahloberfläche, die in einen Temperaturbereich von 600°C oder darüber erhitzt wurde, und Diffusion nach innen; und

(2) Das Plasmanitrierverfahren mit Anordnen eines zu behandelnden Gegenstands als Katode in einem druckreduzierten Behälter (Anode), Einführen in diesen von Stickstoff-Quellengas (N<sub>2</sub>) und Verdünnungsgas (H<sub>2</sub>),

Anlegen einer Hochspannung, um eine Gleichspannungsentladung zu erzeugen, und Eindiffundieren von durch das Plasma ionisiertem Stickstoff.

- 5 Ein Beispiel von Verbindungen von Oberflächenschichten, die durch diese Nitrierverfahren ausgebildet wurden, ist in Fig. 7 gezeigt. Die Probe ist rostfreier Martensitstahl JIS SUS403, wobei die Nitrierung ausgeführt wurde. Die auf dem größten Teil der Oberfläche identifizierten Verbindungen sind Fe<sub>2</sub>N und Fe<sub>3</sub>N, die jeweils eine als weiße Verbindung des Cr-Nitrids bezeichnete ε-Phase darstellen, Fe<sub>4</sub>N der γ-Phase und CrN als Cr-Nitrid. Hierbei ist die ε-Phase der weißen Verbindung brüchig, so daß sie durch Gleiten oder dergleichen abgetragen wird, von der Oberfläche getrennt wird und als Abtragspulver anfällt, das die Schleifwirkung bewirkt. Vom Gesichtspunkt der Verschleißfestigkeit her ist es deshalb allgemein üblich, den größten Teil der Oberfläche durch Schleifen oder dergleichen um etwa 10 µm abzutragen.
- 10 Jedoch werden im Fall einer komplizierten Form wie etwa der kugelförmigen Oberfläche des Gleitteils 245 in der vorliegenden Ausführungsform Mannstunden benötigt, um den größten Teil der Oberfläche um ungefähr 10 mm sorgfältig abzutragen, was zudem ein Kostenproblem darstellt.
- 15 Deshalb wird die Nachbearbeitung des größten Teils der Oberfläche nach der Nitrierung nicht ausgeführt oder durch ein einfaches Reduktionsverfahren wie etwa das Trommelschleifen auf das Mindestmaß beschränkt.
- 20 Jedoch werden im Fall einer komplizierten Form wie etwa der kugelförmigen Oberfläche des Gleitteils 245 in der vorliegenden Ausführungsform Mannstunden benötigt, um den größten Teil der Oberfläche um ungefähr 10 mm sorgfältig abzutragen, was zudem ein Kostenproblem darstellt.
- 25 Deshalb wird die Nachbearbeitung des größten Teils der Oberfläche nach der Nitrierung nicht ausgeführt oder durch ein einfaches Reduktionsverfahren wie etwa das Trommelschleifen auf das Mindestmaß beschränkt.

Andererseits ergibt sich, wie oben erwähnt wurde, für jede der Gleitteile, die aus der Pendelscheibe 224, dem Gleitteil 245, dem Tauchkolben 231 und dem Zylinder 229 bestehen, ein geeigneter Härtewert, wenn sie für ihre Funktion kombiniert werden. Deshalb muß dann, wenn die Gleitteile aus den jeweiligen Materialien dem Nitrieren unterzogen werden, die Härte der Nitridschichten der jeweiligen Teile so gesteuert werden, daß sie für diese geeignet ist.

Die Härte einer Nitridschicht erreicht über 1000 Hv und ist nahezu gesättigt, wenn ein nitridbildendes Element der Legierungselemente des Materials (z. B. Cr, Al, V, Mo, Ti usw.) über ein bestimmtes Maß gehend hinzugefügt wird. Ferner werden die sich niederschlagenden Nitride im selben Material größer, wenn die Behandlungsstemperatur zunimmt, wobei ihre Härte abnimmt. Durch Ausnutzung dieses Phänomens wird es möglich, die Härte einer Nitridschicht durch Steuern der Behandlungsstemperatur zu steuern. Obwohl die Härte der Nitridschicht gesteuert werden kann, nimmt die ε-Phase weißer Verbindung jedoch auf dem größten Teil der Oberfläche zu, um bei erhöhter Behandlungsstemperatur dick zu werden, was nicht vorteilhaft ist. Ferner ist beim Gas-Nitrierverfahren, durch seine Vorrichtung bedingt, die Behandlung in einem Temperaturbereich 600°C oder darüber schwierig. Somit ist beim Gas-Nitrierverfahren der Temperaturbereich, in dem die Härte gesteuert werden kann, beschränkt, weshalb es notwendig ist, einen Behandlungsprozeß zu betrachten, bei dem die Härte der Nitridschicht in einem größeren Bereich gesteuert werden kann.

Deshalb wird bei der Ausführungsform der vorliegenden Erfindung die Aufgabe, die Härte einer Nitridschicht zu steuern, dadurch erfüllt, daß nach der Nitrierung eine Diffusionsbehandlung ausgeführt wird.

In der vorliegenden Ausführungsform wird außerdem eine Behandlung zur Steuerung der Härte einer Nitridschicht in einer der Fig. 9 ähnlichen Weise ausgeführt. In diesem Fall kann als Nitrierung in einem Behandlungsprozeß ebenso ein Gas-Nitrierverfahren angewandt werden. Jedoch ist eine Plasmanitrierung, die die Verbindungen einer Oberflächenschicht durch Gaszusammensetzungen steuern

kann, geeigneter.

Während des Behandlungsprozesses (a) werden die Nitrier- und Diffusionsprozesse kontinuierlich ausgeführt. In der Ausführungsform wird der Prozeß durch Plasmanitrierung ausgeführt. Bei der Plasmanitrierung kann ein zu behandelndes Produkt durch aufgebrachte Leistung (Entladungsleistung) beliebig auf eine Temperatur erhitzt und auf dieser gehalten werden. Ferner besitzt sie das Merkmal, daß die Atmosphäre durch Steuerung der Gaszusammensetzungen in eine nitrierende Atmosphäre oder eine nicht nitrierende Atmosphäre (Diffusion) gewandelt werden kann. Da es andererseits beim Gas-Nitrierverfahren, durch seine Vorrichtung bedingt, wie oben erwähnt wurde, schwierig ist, in einem Temperaturbereich von 600°C oder darüber zu arbeiten, stellt eine Diffusionsbehandlung bei 600°C oder darüber ein Problem dar.

Während des Behandlungsprozesses (b) werden die Nitrier- und Diffusionsprozesse diskontinuierlich ausgeführt. In der Ausführungsform wird die Nitrierung durch eine Plasmanitrierung ausgeführt. Beim Diffusionsprozeß werden das Aufheizen und das Halten auf Temperatur in einem Vakuum-Wärmebehandlungssofen ausgeführt. Im Unterschied dazu kann auch eine Behandlung in einem Wärmebehandlungssofen mit nichtoxidierender Atmosphäre, beispielsweise mit Inertgas wie etwa N<sub>2</sub>, Ar usw., verwendet werden.

**Fig. 22** zeigt graphische Darstellungen, die Härteverteilungen von Nitridschichten verschiedenartiger, in der Ausführungsform der vorliegenden Erfindung verwendeter Stähle sind. Als Beispiel werden in einem Prozeß (a) die rostfreien Martensitstähle JIS SUS420J2 und JIS SUS403 behandelt, während in einem Prozeß (b) ein legierter Werkzeugstahl JIS SKD61 behandelt wird. In diesem Fall sind dies Härteverteilungen, wobei in jedem Prozeß die Behandlungsbedingungen, Temperatur und Zeit, untersucht wurden und sich eine Oberflächenhärte von 750 ± 50 und eine Tiefe des Überzugs von 0,1 mm (über 500 Hv) ergaben.

Die obige Nitrierung betreffend wird in allen Fällen eine Plasmanitrierung vorgenommen. Die Behandlungsbedingungen waren wie folgt: Temperatur: 530°C, Zeit: 5 Stunden, Gaszusammensetzungen: N<sub>2</sub>/H<sub>2</sub> gleich 1/3, Druck (Pirani): 40 Torr. In den Härteverteilungen ohne eine nach der Nitrierung ausgeführte Behandlung (nach ausschließlicher Nitrierung belassen) beträgt die Härte jeder Art von Stahl an einer Stelle, die 25 µm unter der Oberfläche liegt, 1000 Hv, nimmt von der Oberfläche nach innen allmählich ab und erreicht die Härte des Grundmaterials. Der folgende Diffusionsprozeß wird für jede Art von Stahl ausgeführt.

Material JIS SKD61 wurde im Vakuum-Wärmebehandlungssofen unter den Bedingungen eines Drucks von  $1 \times 10^{-5}$  Torr, einer Temperatur von 630°C und einer Zeit von 3 Stunden einer Wärmebehandlung unterzogen.

Material JIS SUS420J2 wurde unter den Bedingungen einer Temperatur von 590°C, einer Zeit von 3 Stunden, Gaszusammensetzungen, die nur aus H<sub>2</sub> bestanden, und einem Druck (Pirani) von 40 Torr einer Plasmanitrierung unterzogen. Das Material JIS SUS403 wurde unter den Bedingungen einer Temperatur von 610°C, einer Zeit von 5 Stunden, Gaszusammensetzungen, die lediglich aus H<sub>2</sub> bestanden, und einem Druck (Pirani) von 40 Torr einer Plasmanitrierung unterzogen.

Hinsichtlich der Härteverteilungen der Materialien, die nach der Nitrierung einem Diffusionsprozeß unterzogen wurden, verringert sich die Härte des durch Nitrierung behandelten Materials mit anschließender Diffusion, obwohl die Härte des Materials, das nach der Nitrierung keinerlei Behandlung unterzogen wurde, ungefähr 1000 Hv betrug, auf 700 bis 800 Hv an der Oberfläche, verringert sich nach

innen zu allmählich und erreicht die Härte des Grundmaterials. Die Materialien genügen dem Ziel einer Oberflächenhärte von 750 Hv ± 50 Hv und einer Tiefe des Überzugs von 0,1 mm (über 500 Hv).

Als Untersuchungsergebnis einer Oberflächenschicht, die durch die Behandlung, bei der die Tiefe der Nitridschicht nach der Nitrierung in derselben Weise wie in **Fig. 7** durch Diffusion gesteuert wird, erzeugt wurde, bestehen die an der Oberfläche identifizierten Verbindungen aus CrN als Cr-Nitrid und α-Fe des Grundmaterials. Verglichen mit dem Fall in **Fig. 3**, in dem nach der Nitrierung keinerlei Behandlung ausgeführt wurde, wird festgestellt, daß Fe<sub>2</sub>N und Fe<sub>3</sub>N, die jeweils eine als brüchige weiße Verbindung bezeichnete und die Verschleißfestigkeit beeinflussende ε-Phase darstellen, und Fe<sub>4</sub>N der γ-Phase verschwinden und infolge der Diffusion nach der Nitrierung nicht vorkommen.

Die Ergebnisse zusammenfassend, gemäß der vorliegenden Erfindung angewandten Behandlung, bei der die Härte der Nitridschicht gesteuert wird, wird eine Nitridschicht, deren Härte gesteuert wird, und eine Glattheit besitzt, ausgebildet. Ferner können auch die Verbindungen der Oberflächenschicht gesteuert werden. Deshalb ist es überflüssig, eine Oberfläche aus brüchiger ε-Phase abzuschleifen, und möglich, diese selbst mit der Nitridschicht zu belassen, wie sie ist. Jedoch schlagen sich im Fall der Plasmanitrierung feine Teilchen von etwa 1–2 µm als Überzug infolge des Zerstäubungspheomens auf einer Oberfläche nieder. Die Oberfläche sollte unter Berücksichtigung des verstärkenden Einflusses der feinen Teilchen auf den Anfangsverschleiß geläppt werden.

**Fig. 23** ist eine Schnittansicht eines Gleitteils und eines Tauchkolbens, bei denen die Nitridschichthärte gesteuert wird, wobei das Gleitteil 245 einer Behandlung unterzogen wird. Materialien und Spezifikation der Pendelscheibe 224, des Gleitteils 245, des Tauchkolbens 231 (Tauchkolbenkopfs 240) und des Zylinders 229 sind wie folgt.

Die Pendelscheibe 224 betreffend wird das Material JIS SUS403 zur Bildung einer Nitridschicht 24a einer Plasmanitrierung unterzogen, um deren Härte größer als jene des Gleitteils 245 zu machen. Die Behandlungsbedingungen sind wie folgt: Temperatur: 530°C, Zeit: 7 Stunden, Gaszusammensetzungen: N<sub>2</sub>/H<sub>2</sub> gleich 1/3, Druck (Pirani): 40 Torr. Die Tiefe des Überzugs (Tiefe der Aushärtung) beträgt 0,1 mm (über 500 Hv). Die Oberfläche wird nach der Nitrierung um 20 µm abgetragen, um eine α-Phase aus brüchiger weißer Verbindung, die sich auf die Verschleißfestigkeit schädlich auswirkt, zu entfernen. Ferner wird als Material für die Pendelscheibe 224, anders als oben, vergütetes Material JIS SUS420J2 und JIS SUS440C und vergütetes Material JIS SKD61 und JIS SKD11 verwendet, wobei gemäß einer kombinierten Aufgabe die Nitrierung angewandt wird.

Die Härte des Gleitteils 245 ist geringer als jene der Pendelscheibe 224, wobei ein Behandlungsprozeß (a), der die Nitrierschichthärte steuert, wie in **Fig. 9** gezeigt ist, angewandt wird. Als Grundmaterial wird Material JIS SUS403 verwendet, wobei eine Nitridschicht 45a unter derselben Behandlungsbedingung und Nitridschichtspezifikation wie in den **Fig. 9** und 22 ausgebildet wird. In der Nitridschicht 45a beträgt die Oberflächenhärte 750 Hv ± 50 Hv, während die Tiefe der Aushärtung 0,1 mm (über 500 Hv) beträgt. Nach der Nitrierung werden das Entfernen feiner Teilchen auf dem größten Teil der Oberfläche und das Läppen zur Verbesserung der Oberflächenglattheit ausgeführt. Ferner wird als Material des Gleitteils 45, anders als oben, vergütetes Material JIS SUS420J2 und JIS SUS440C und ebenso vergütetes Material JIS SKD61 und JIS SKD11 verwendet, wobei auf dieses die obenerwähnte Nitrierung angewandt wird, um gemäß einer kombinierten Aufgabe vorzugehen.

Für den Tauchkolben 231 (Tauchkolbenkopf 240) wird vergütetes Material JIS SUS440C verwendet. Die Außen-durchmesserfläche des Tauchkolbens 231 und des Tauchkolbenkopfs 240 wird hinsichtlich der Verschleißfestigkeit abgetragen. Ferner wird als Material für den Tauchkolben 231 (Tauchkolbenkopf 240), anders als oben, vergütetes Material JIS SUS420J2 und JIS SUS440C und ebenso vergütetes Material JIS SKD61 und JIS SKD11 verwendet, wobei auf dieses die obenerwähnte Nitrierung angewandt wird, um gemäß einer kombinierten Aufgabe vorzugehen.

Für den Zylinder 229 wird vergütetes Material JIS SUS440C verwendet. Die Innendurchmesserfläche des Zylinders 229 wird hinsichtlich der Verschleißfestigkeit abgetragen. Ferner wird als Material für den Zylinder 229, anders als oben, vergütetes Material JIS SUS420J2 und JIS SUS440C und ebenso vergütetes Material JIS SKD61 und JIS SKD11 verwendet, wobei auf dieses die obenerwähnte Nitrierung angewandt wird, um gemäß einer kombinierten Aufgabe vorzugehen.

Ferner wird in der vorliegenden Ausführungsform eine ionennitrierte Schicht auf der Oberfläche des Tauchkolbens 131 in der gleichen Weise wie in den Ausführungsformen 1 und 2 ausgebildet und anschließend die Diffusionsbehandlung ausgeführt, wobei sich anschließend Überzüge aus CrN, TiN, BN, TiC, SiC mit einer Dicke von 1–5 µm auf der Oberfläche ausbilden.

Eine Haltbarkeitsprüfung einer realen Maschine der Pumpe mit Taurmelscheibe und axialem Tauchkolben aus Fig. 21 mit der obenerwähnten Konstruktion wurde ausgeführt.

Im Ergebnis arbeitet die Kraftstoffpumpe ohne jegliche Anomalie, wobei stabile Werte der Benzinförderungs-Durchflußprüfung erzielt wurden. Nach der Prüfung wurde die Pumpe zerlegt und jedes Teil untersucht. Im Ergebnis wurde in keinem der Teile ein Eintreten eines ungewöhnlichen Verschleißes beobachtet, sondern der Verschleiß ergab einen stabilen Zustand.

Andererseits trat bei einer Pumpe ohne jegliche Behandlung, wie sie oben erwähnt wurde, bei der Durchflußleistung der Benzinförderung während der Haltbarkeitsprüfung eine Anomalie ein, wobei deren Betrieb nicht fortgesetzt werden konnte. Als Ergebnis der Zerlegung und Untersuchung der Pumpe nach der Prüfung wurde an der Pendelscheibe 224 ein großer Verschleiß beobachtet und ein abgestufter Abschnitt festgestellt. Ferner trat in dem kugelförmigen Abschnitt des Gleiteils 245 und des Tauchkolbenkopfs 240 eine Verringerung der Dicke durch Verschleiß ein. Vom Verschleiß herrührendes Pulver drang in einen Spalt zwischen der Außendurchmesserfläche des Tauchkolbens 231 und der Innendurchmesserfläche des Zylinders 229 ein, wodurch ein ungewöhnlicher Verschleiß eintrat.

Die obigen Ergebnisse zusammenfassend, in der gemäß der vorliegenden Erfindung konstruierten Kraftstoffpumpe haften eine Nitridschicht und eine verschleißfeste Schicht, wovon jede härter als jene des Grundmaterials ist nur schwerlich aneinander, wobei die Reaktivität zwischen den Gleiteilen verbessert wird. Ferner ist die Nitridschicht eine behandelte Schicht, die sich aus dem Grundmaterial fortsetzt, so daß die Schicht die Eigenschaft, nicht leicht abzulösen zu sein, besitzt. Die Verschleißfestigkeit und die Korrosionsbeständigkeit werden verbessert, weshalb durch diese Eigenschaften eine aufgabengemäße Hochdruck-Kraftstoffpumpe verwirklicht werden kann.

#### AUSFÜHRUNGSFORM 4

Fig. 24 ist eine schematische Darstellung einer Fahrzeug-Brennkraftmaschine mit Benzin-Direkteinspritzung, der die

Kraftstoffpumpe einer der Ausführungsformen 1 bis 3 verwendet. Ein in einem Zylinderkopf 70 vorgesehenes Einspritzventil 61 ist an seiner Spitze geöffnet, um Kraftstoff, der aus einem Kraftstoffkorridor zugeführt wird, direkt in eine Brennkammer 74 einzuspritzen. In der vorliegenden Ausführungsform ist der Motor mit der Hochdruck-Kraftstoffpumpe zur Kraftstoffzufuhr zum Einspritzventil versehen, um direkt in den Zylinder Kraftstoff einzuspritzen, wobei der Kraftstoff zur supermageren Verbrennung in hochfeine Teilchen zerlegt wird.

Zwischen einem Einlaßventil 64 und einem Auslaßventil 65 ist eine Zündkerze 63 vorgesehen, wobei während des Öffnens des Einlaßventils 64 aufgrund der Wirkung eines Flachkolbens 68 Luft durch eine Einlaßöffnung 66 aufgenommen und mit dem vom Einspritzventil 61 eingespritzten Kraftstoff gemischt wird und die Mischung durch elektrischen Funken gezündet wird, um die Verbrennung auszulösen. Das Verbrennungsgas wird aufgrund der Wirkung des Kolbens 68 durch das Abgasventil 65, während dieses geöffnet ist, ausgeströmt.

Eine Einspritzventil-Ansteuerungsschaltung 62 ist mit einem Einspritzventil-Ansteuerungssignalanschluß 71 des Einspritzventils 61 elektrisch verbunden. Die Einspritzventil-Ansteuerungsschaltung 62 ist mit einer elektronischen Steuereinheit (ECU) 69, die ein Auslösesignal zur Ansteuerung oder Nichtansteuerung des Einspritzventils ausgibt, um die Verzögerung der Bewegung des Ventilkörpers zu verkürzen, elektrisch verbunden. In die elektronische Steuereinheit 69 werden verschiedeneartige Betriebszustände des Motors 30 eingegeben, wobei ein Auslösesignal zur Ansteuerung des Einspritzventils gemäß der Betriebszustände bestimmt wird.

Die Luftströmgeschwindigkeit durch die Einlaßöffnung 66 wird durch elektromagnetische Mittel M gesteuert, die an zwei Stellen angeordnet und mit einem Gaspedal verbunden sind. Das Abgas nach der Verbrennung wird durch einen sauerstoffarmen Speicher des Typs Dreizeige-Katalysator 72, durch den Kohlenwasserstoff, Kohlenstoffmonoxid und NOx entfernt werden, und durch einen NOx-Filter-Katalysator 73, durch den NOx entfernt wird, geleitet. In der vorliegenden Ausführungsform wird vom Einspritzventil 61 Kraftstoff in den Zylinder eingespritzt, wobei der Kraftstoff in gasförmige/flüssige hochfeine Teilchen mit einem Teilchendurchmesser von höchstens 25 µm, vorzugsweise von höchstens 15 µm und noch vorzugsweise von höchstens 10 µm, zerstäubt wird, wobei der Motor bei einem Luft/Kraftstoff-Verhältnis von 50 durch supermagere Verbrennung betrieben wird.

Der hier verwendete Dreizeige-Katalysator 72 enthält einen Aluminiumträger, wobei in den Träger Pt und Ce eingebaut ist, während der hier verwendete NOx-Katalysator 73 einen Aluminiumträger enthält, wobei in den Träger Pt und Na- und Ti-Oxide eingebaut sind.

Der Gesamtaufbau des Kraftstoffeinspritzventils 61 ist wie folgt. Das Einspritzventil 61 ist an einem Zylinderkopf 70 angebracht und an dem Gehäuse befestigt. Das Einspritzventil enthält einen Kern, eine Spuleneinheit, eine Armatur und eine Wirbelventil-Vorrichtung, die durch Verstemmen an einem Ende des Gehäuses getragen wird. Die Ventilvorrichtung ist aus einem zylindrischen, hohlen, abgestuften Zylinderkörper mit einem Zylinderabschnitt, der einen kleinen Durchmesser besitzt, und einem Zylinderabschnitt, der einen großen Durchmesser besitzt, einem an der Spitze einer zentralen Bohrung in dem Ventilkörper befestigten Ventilsitz mit einer Kraftstoffeinspritzbohrung und aus einem Nadelventil mit einem Ventilkörper, der durch ein Magnetventil angesteuert wird, um diesen mit dem Ventilsitz in Kontakt zu bringen oder von diesem zu trennen und so die Kraftstoffeinspritzbohrung zu schließen und zu öffnen, zusam-

mengesetzt ist. Sie besitzt zwei O-Ringe, die auf derjenigen Seite angeordnet sind, auf die der Kraftstoffdruck ausgeübt wird, und in einem Raum, der das obenerwähnte Gehäuse und den Kern einschließt, mit einer unteren Stirnfläche der Spuleneinheit in Kontakt sind. Der Durchmesser der Kraftstoffeinspritzbohrung beträgt 0,8 mm.

Als nächstes wird die Arbeitsweise erklärt. Wenn Strom zur Spule fließt, wird in einem magnetischen Kreis, der durch die Armatur, den Kern und das Gehäuse gebildet wird, ein Magnetfluß erzeugt, so daß die Armatur zur Kernseite hin angezogen wird und das mit der Armatur integrierte Nadelventil vom Ventilsitz getrennt wird, so daß sich ein Spalt bildet. Nach der Bildung des Spalts dringt aus dem Ventilkörper Kraftstoff mit hohem Druck in die Einspritzbohrung des Ventilsatzes ein, der durch einen Auslaß an seiner Spitze eingespritzt wird, wobei, wie oben erwähnt wurde, dieser hochfein gemacht wurde.

Das Einspritzventil 61 steht 2–10 mm vom Zylinderkopf in den Zylinder vor.

Insbesondere der Ventilkörper, der Ventilsitz, das Nadelventil und der Verwirbler bestehen jeweils aus 1% C und 16% Cr enthaltendem rostfreiem Ferritstahl des JIS-Standards SUS44C, der nach der kalten plastischen Reduktion getempert und maschinell bearbeitet wird, um die endgültige Produktform zu bilden. Der Durchmesser der Kraftstoffeinspritzbohrung beträgt 0,8 mm, wobei die Unrundheit höchstens 0,5 µm beträgt.

Im folgenden werden ein Verfahren zur Bildung eines organischen Films auf einem Spitzenabschnitts des Kraftstoffeinspritzventils 61 und dessen Auswirkungen erläutert.

Die vorliegende Ausführungsform ist ein Einspritzventil mit einem organischen Film mit einer Tiefe von 1,5 bis 8 nm, der in der Kraftstoffeinspritzbohrung und ihrem Begrenzungssabschnitt ausgebildet ist, und einem organischen Film, der auf einer Oberfläche der Kraftstoffeinspritzbohrung ausgebildet ist, wobei wenigstens eine der folgenden Bedingungen erfüllt wird: die Kraftstoffeinspritzbohrung besitzt einen solchen Durchmesser, daß Kraftstoff bei einem Teilchendurchmesser von höchstens 2 µm gesprührt werden kann, der Durchmesser der Einspritzbohrung 0,3–0,8 mm beträgt und die Kraftstoffeinspritzbohrung und ihr Begrenzungssabschnitt aus rostfreiem Ferritstahl mit einem Gehalt von 0,6–1,5% C, von höchstens 1% Si, höchstens 1,5% Mn und 15–20% Cr gefertigt sind.

Der organische Film ist mit dem Basismetall durch Kovalenzbindung verbunden, wobei die Dicke vorzugsweise 105–30 nm, vorzugsweise 1,5–10 nm und noch vorzugsweise 1,5–7 nm beträgt.

Ferner kann als organischer Überzug ein Film, der unter anwachsende Entladung aus einer Perfluorpolyether-Verbindung, einem Tetrafluorethenmonomer, einem Silikonharz, einem Polyamidharz usw. gebildet ist, und ein Film, der aus Teflonharz oder einer Lösung aus Alkoxiden und durch ein substituiertem Alkoxid erhalten wurde, verwendet werden.

In der vorliegenden Ausführungsform können bei einer Brennkraftmaschine mit Direkteinspritzung, die mit einem Zylinderkopf, der eine Einlaßvorrichtung und eine Auslaßvorrichtung in der Brennkammer besitzt, einem Kolben, der sich im Zylinderkopf hin und her bewegt, einer Kraftstoffeinspritzeinrichtung, die so angeordnet ist, daß sie Kraftstoff in die Brennkammer einspritzt, und einer Zündvorrichtung zum Zünden des von einer Kraftstoffeinspritzeinrichtung eingespritzten Kraftstoffs versehen ist, die obenerwähnte Kraftstoffpumpe und das obenerwähnte Einspritzventil verwendet werden.

Ferner wird in der vorliegenden Ausführungsform bei einer Brennkraftmaschine mit Direkteinspritzung, die mit einem Zylinderkopf, der eine Einlaßvorrichtung und eine

Auslaßvorrichtung in der Brennkammer besitzt, einem Kolben, der sich im Zylinderkopf hin und her bewegt, einer Kraftstoffeinspritzeinrichtung, die so angeordnet ist, daß sie zur Steuerung einer mageren Verbrennung bei einem Luft-/Kraftstoff-Verhältnis von 45 oder darüber, Kraftstoff in die Brennkammer einspritzt, und einer Zündvorrichtung zum Zünden des von der Kraftstoffeinspritzeinrichtung eingespritzten Kraftstoffs versehen ist, wobei die obenerwähnte Kraftstoffeinspritzeinrichtung einen auf den Oberflächen einer Einspritzbohrung, die den Kraftstoff versprüht, und einem Begrenzungssabschnitt der Bohrung ausgebildeten organischen Film besitzt, die obenerwähnte Kraftstoffpumpe verwendet.

Gemäß der vorliegenden Ausführungsform kann vermieden werden, daß Ablagerungen infolge der Verbrennung von Benzin auf der Oberfläche des Kraftstoffeinspritzventils des Direkteinspritzungsmotors haften, wobei insbesondere die Steuerung einer supermageren Verbrennung bei einem Luft-/Kraftstoff-Verhältnis von 45 oder darüber möglich ist und ein Fahrzeug oder Automobil mit einem hohen Wirkungsgrad in bezug auf den Kraftstoffverbrauch erhalten werden kann.

Gemäß der vorliegenden Erfindung wird bei einer Kraftstoffpumpe auf jedem Gleitmechanismusteil ein verschleißfester/korrosionsbeständiger Überzug ausgebildet, wobei Gleiteile in Kraftstoff, insbesondere die Materialstruktur und die Kombination, berücksichtigt werden, wodurch ein Fressen und ein ungewöhnlicher Verschleiß vermieden werden können. Dadurch kann eine hochzuverlässige Hochdruck-Kraftstoffpumpe geschaffen werden, die, insbesondere bei der Direkteinspritzung in den Zylinder eines Fahrzeug-Magerverbrennungsmotors mit gesteuerter Verbrennung, eine bemerkenswerte Wirkung zeigt.

#### Patentansprüche

1. Kraftstoffpumpe, die Kraftstoff unter Druck setzt und an ein Kraftstoffeinspritzventil eines Fahrzeugmotors fördert, wobei auf wenigstens einer der Gleitflächen, die miteinander in Kontakt kommen und durch den Kraftstoff gleiten, eine oberflächengehärtete Schicht, die entweder eine nitrierte Schicht, eine karbierte und abgeschreckte Schicht oder eine karbonisierte Schicht enthält, und eine auf der oberflächengehärteten Schicht ausgebildete Metallverbundenschicht, die eine höhere Korrosionsbeständigkeit gegen den Kraftstoff als die oberflächengehärtete Schicht besitzt, ausgebildet sind.

2. Kraftstoffpumpe, die in einem Gehäuse eine Welle, die die Rotation von außen überträgt, eine Taumscheibe, die die Rotation der Welle in eine Pendelbewegung umwandelt, und einen Tauchkolben, der sich durch die Pendelbewegung der Taumscheibe über ein Gleitteil in einem Zylinder hin und her bewegt, enthält, den Kraftstoff unter Druck setzt und diesen an ein Kraftstoffeinspritzventil eines Fahrzeugmotors fördert, wobei auf wenigstens einer der Gleitflächen des Tauchkolbens und des Zylinders, die miteinander in Kontakt kommen und gleiten, eine oberflächengehärtete Schicht, die entweder eine nitrierte Schicht, eine karbierte und abgeschreckte Schicht oder eine karbonisierte Schicht umfaßt, und eine auf der oberflächengehärteten Schicht ausgebildete Metallverbundenschicht, die eine höhere Korrosionsbeständigkeit gegen den Kraftstoff als die oberflächengehärtete Schicht besitzt, ausgebildet sind.

3. Kraftstoffpumpe, die in einem Gehäuse eine Taumscheibe, die durch die von einer Welle von außen

übertragene Rotation rotiert, eine Pendelscheibe, die durch die Rotation der Taumelscheibe pendelt, und einen Tauchkolben, der sich durch die Rotation der Pendelscheibe über ein Gleitteil in einem Zylinder hin und her bewegt, enthält, den Kraftstoff unter Druck setzt und diesen an ein Kraftstoffeinspritzventil eines Fahrzeugmotors fördert, wobei auf wenigstens einer der Gleitflächen des Tauchkolbens und des Zylinders, die miteinander in Kontakt kommen und gleiten, eine oberflächengehärtete Schicht, die entweder eine nitrierte Schicht, eine karburierte und abgeschreckte Schicht oder eine carbonitrierte Schicht umfaßt, und eine auf der oberflächengehärteten Schicht ausgebildete Metallverbindungsschicht, die eine höhere Korrosionsbeständigkeit gegen den Kraftstoff als die oberflächengehärtete Schicht besitzt, ausgebildet sind.

4. Kraftstoffpumpe, die eine Welle, die sich durch den Lauf einer Brennkraftmaschine dreht, einen Nocken, der sich durch die Rotation der Welle dreht, und einen Tauchkolben, der sich durch die Rotation des Nockens in einem Zylinder hin und her bewegt, enthält, den Kraftstoff unter Druck setzt und diesen an ein Kraftstoffeinspritzventil eines Fahrzeugmotors fördert, wobei auf wenigstens einer der Gleitflächen des Tauchkolbens und des Zylinders, die miteinander in Kontakt kommen und gleiten, eine oberflächengehärtete Schicht, die entweder eine nitrierte Schicht, eine karburierte und abgeschreckte Schicht oder eine carbonitrierte Schicht umfaßt, und eine auf der oberflächengehärteten Schicht ausgebildete Metallverbindungsschicht, die eine höhere Korrosionsbeständigkeit gegen den Kraftstoff als die oberflächengehärtete Schicht besitzt, ausgebildet sind.

5. Kraftstoffpumpe, die Kraftstoff unter Druck setzt und an ein Kraftstoffeinspritzventil eines Fahrzeugmotors fördert, wobei auf wenigstens einer der Gleitflächen, die miteinander in Kontakt kommen und durch Schmieröl gleiten, eine oberflächengehärtete Schicht, die entweder eine nitrierte Schicht, eine karburierte und abgeschreckte Schicht oder eine carbonitrierte Schicht umfaßt, und eine auf der oberflächengehärteten Schicht ausgebildete Metallverbindungsschicht, die eine höhere Korrosionsbeständigkeit gegen den Kraftstoff als die oberflächengehärtete Schicht besitzt, ausgebildet sind.

6. Kraftstoffpumpe, die in einem Gehäuse eine Welle, die die Rotation von außen überträgt, eine Taumelscheibe, die die Rotation der Welle in eine Pendelbewegung umwandelt, und einen Tauchkolben, der sich durch die Pendelbewegung der Taumelscheibe über ein Gleitteil in einem Zylinder hin und her bewegt, enthält, den Kraftstoff unter Druck setzt und diesen an ein Kraftstoffeinspritzventil eines Fahrzeugmotors fördert, wobei auf wenigstens einer der Gleitflächen der Taumelscheibe, des Gleitteils und des Tauchkolbens, die miteinander in Kontakt kommen, um zu gleiten, eine oberflächengehärtete Schicht, die entweder eine nitrierte Schicht, eine karburierte und abgeschreckte Schicht oder eine carbonitrierte Schicht umfaßt, ausgebildet ist und auf wenigstens einer der Gleitflächen des Tauchkolbens und des Zylinders die durch Abschreckhärten vergütete Schicht und eine auf der oberflächengehärteten Schicht ausgebildete Metallverbindungsschicht, die eine höhere Korrosionsbeständigkeit gegen den Kraftstoff als die oberflächengehärtete Schicht besitzt, ausgebildet sind.

7. Kraftstoffpumpe, die in einem Gehäuse eine Taumelscheibe, die durch die von einer Welle von außen

übertragene Rotation rotiert, eine Pendelscheibe, die durch die Rotation der Taumelscheibe pendelt, und einen Tauchkolben, der sich durch die Rotation der Pendelscheibe über ein Gleitteil in einem Zylinder hin und her bewegt, enthält, den Kraftstoff unter Druck setzt und diesen an ein Kraftstoffeinspritzventil eines Fahrzeugmotors fördert, wobei auf wenigstens einer der Berührungsflächen zwischen der Pendelscheibe und dem Gleitteil eine oberflächengehärtete Schicht, die entweder eine nitrierte Schicht, eine karburierte und abgeschreckte Schicht oder eine carbonitrierte Schicht umfaßt, ausgebildet ist, und die oberflächengehärtete Schicht und eine auf dieser ausgebildete Metallverbindungsschicht, die eine höhere Korrosionsbeständigkeit gegen den Kraftstoff als die oberflächengehärtete Schicht besitzt, auf wenigstens einer der Gleitflächen des Tauchkolbens und des Zylinders ausgebildet sind.

8. Brennkraftmaschine mit Direkteinspritzung, die eine Einspritzeinrichtung zur Direkteinspritzung von Kraftstoff in eine Brennkammer und eine Kraftstoffpumpe, die an die Einspritzeinrichtung den Kraftstoff fördert, enthält, wobei die Kraftstoffpumpe eine Kraftstoffpumpe nach einem der Ansprüche 1 bis 7 ist.

9. Brennkraftmaschine mit Direkteinspritzung nach Anspruch 8, wobei die Einspritzeinrichtung zur Steuerung einer mageren Verbrennung Kraftstoff mit einem Luft-/Kraftstoff-Verhältnis von 45 oder darüber einspritzt.

10. Kraftstoffpumpe, die Kraftstoff unter Druck setzt und an ein Kraftstoffeinspritzventil eines Fahrzeugmotors fördert, wobei auf wenigstens einer der Gleitflächen, die miteinander in Kontakt kommen und durch den Kraftstoff gleiten, eine oberflächengehärtete Schicht, die entweder eine durch Nitrierung und anschließende Diffusionsbehandlung gebildete nitrierte Schicht oder eine carbonitrierte Schicht umfaßt, und eine auf der oberflächengehärteten Schicht ausgebildete Metallverbindungsschicht, die eine höhere Korrosionsbeständigkeit gegen den Kraftstoff als die oberflächengehärtete Schicht besitzt, ausgebildet sind.

11. Kraftstoffpumpe, die Kraftstoff unter Druck setzt und an ein Kraftstoffeinspritzventil eines Fahrzeugmotors fördert, wobei auf wenigstens einer der Gleitflächen, die entweder aus rostfreiem Stahl oder aus legiertem Werkzeugstahl gefertigt sind und miteinander in Kontakt kommen, um durch den Kraftstoff zu gleiten, eine Fe<sub>4</sub>N und CrN enthaltende oberflächengehärtete Schicht und eine auf der oberflächengehärteten Schicht ausgebildete Metallverbindungsschicht, die eine höhere Korrosionsbeständigkeit gegen den Kraftstoff als die oberflächengehärtete Schicht besitzt, ausgebildet sind.

12. Kraftstoffpumpe, die Kraftstoff unter Druck setzt und an ein Kraftstoffeinspritzventil eines Fahrzeugmotors fördert, wobei auf wenigstens einer der Gleitflächen, die entweder aus rostfreiem Stahl oder legiertem Werkzeugstahl gefertigt sind und miteinander in Kontakt kommen, um durch den Kraftstoff zu gleiten, eine oberflächengehärtete Schicht, die eine carbonitrierte Schicht mit Martensitstruktur umfaßt, und eine auf der oberflächengehärteten Schicht ausgebildete Metallverbindungsschicht, die eine höhere Korrosionsbeständigkeit gegen den Kraftstoff als die oberflächengehärtete Schicht besitzt, ausgebildet sind.

13. Oberflächenbehandlungsverfahren für eine Kraftstoffpumpe, die Kraftstoff unter Druck setzt und an ein Kraftstoffeinspritzventil eines Fahrzeugmotors fördert, umfassend die folgenden Schritte:

Ausbilden einer oberflächengehärteten Schicht aus einer nitrierten Schicht oder einer karbonitrierten Schicht auf wenigstens einer der miteinander in Kontakt kommenden und gleitenden Gleitflächen durch Plasmanitrieren;

5

Ausführen der Diffusionsbehandlung zum Entfernen einer  $\epsilon$ -Phase aus weißer Verbindung, die durch das Plasmanitrieren erzeugt wurde; und danach

Ausbilden einer Metallverbindungsschicht, die eine höhere Korrosionsbeständigkeit gegen den Kraftstoff 10 als die oberflächengehärtete Schicht besitzt, auf der oberflächengehärteten Schicht durch ein PVD-Verfahren.

14. Oberflächenbehandlungsverfahren nach Anspruch 13, bei dem die Diffusionsbehandlung bei einer Temperatur ausgeführt wird, die höher als die Behandlungstemperatur der Plasmanitrierung ist.

15. Oberflächenbehandlungsverfahren für eine Kraftstoffpumpe, die Kraftstoff unter Druck setzt und an ein Kraftstoffeinspritzventil eines Fahrzeugmotors fördert, 20 umfassend die folgenden Schritte:

Ausbilden einer oberflächengehärteten Schicht mit Martensitstruktur auf wenigstens einer der Gleitflächen, die entweder aus rostfreiem Stahl oder legiertem Werkzeugstahl gefertigt sind, miteinander in Kontakt 25 kommen und durch den Kraftstoff gleiten, durch Karburieren und Abschrecken; und danach

Ausbilden einer Metallverbindungsschicht, die eine höhere Korrosionsbeständigkeit gegen den Kraftstoff als die oberflächengehärtete Schicht besitzt, auf der 30 oberflächengehärteten Schicht durch ein PVD-Verfahren.

---

Hierzu 23 Seite(n) Zeichnungen

35

40

45

50

55

60

65

FIG. 1

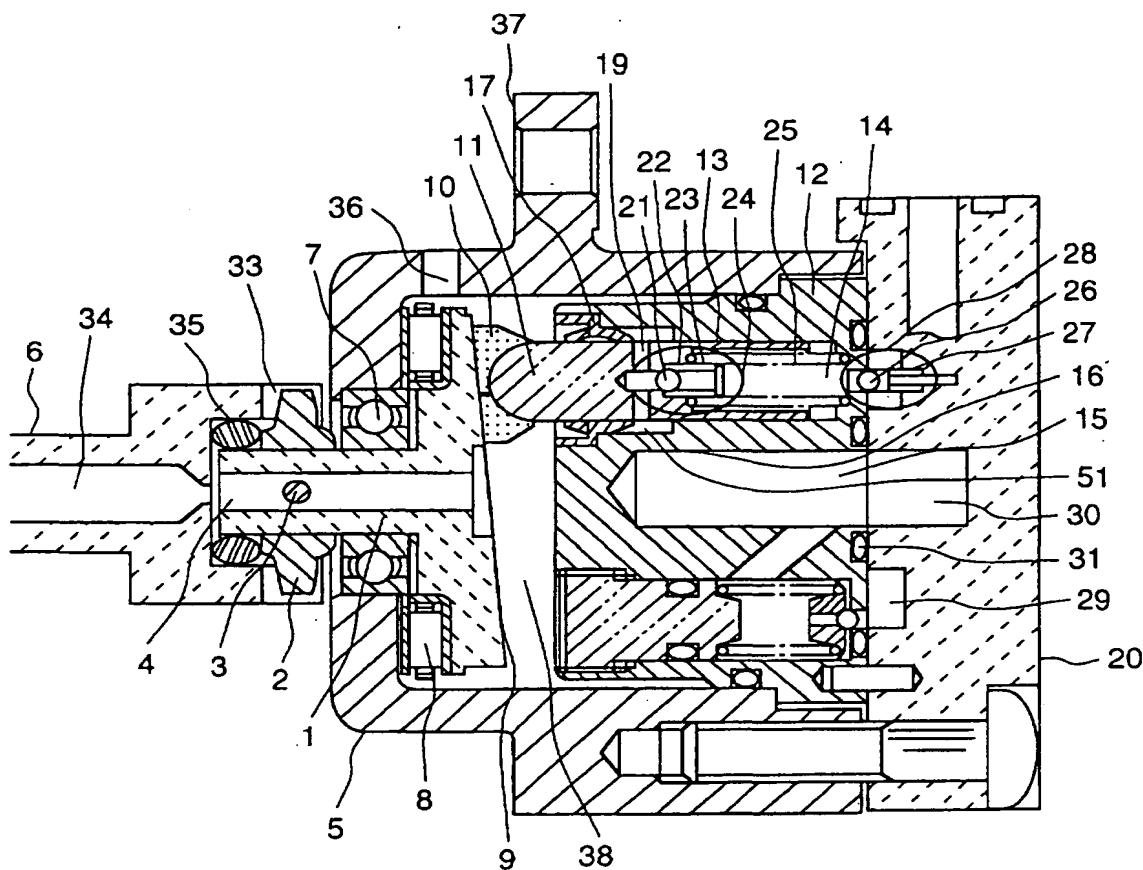
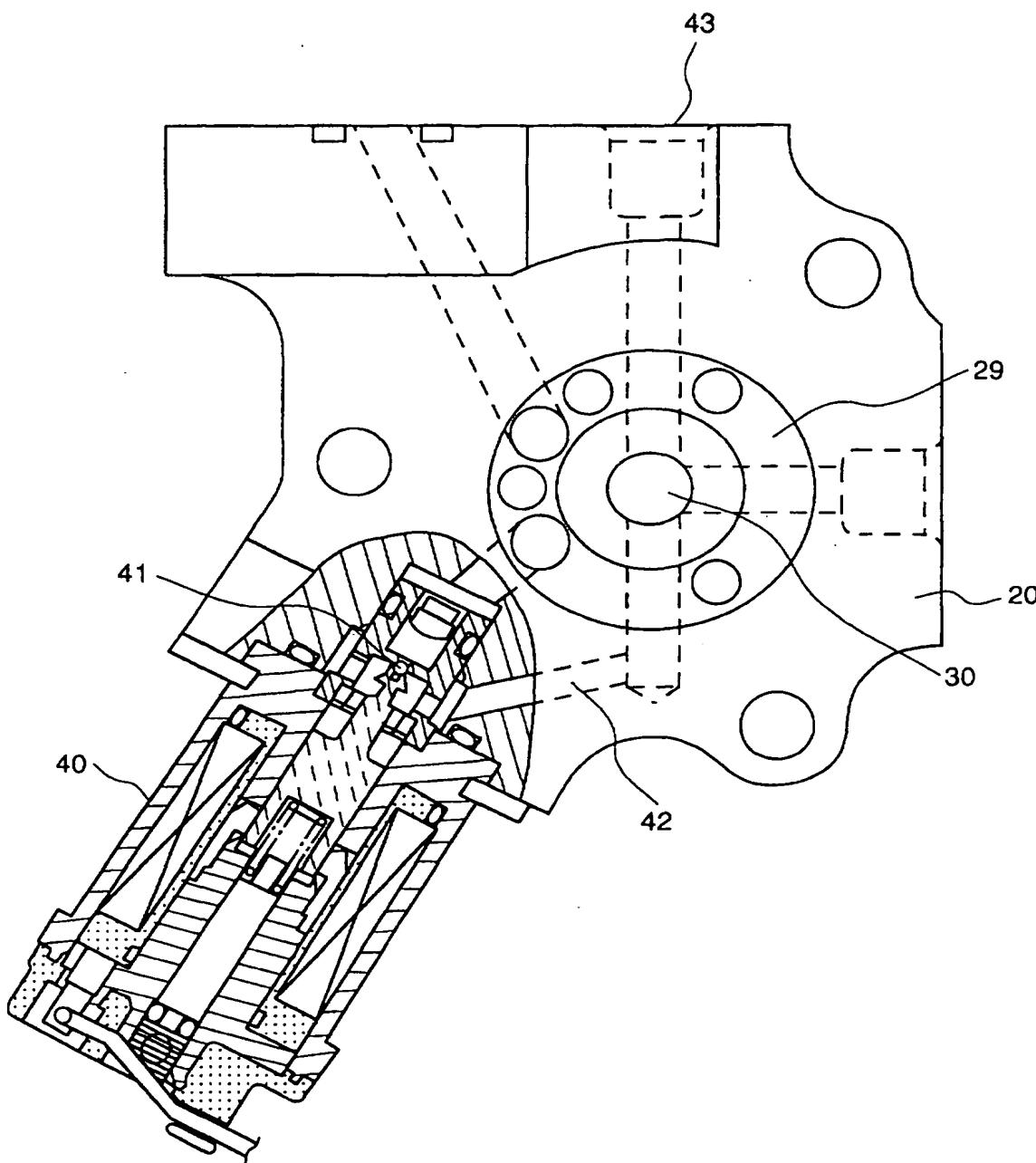
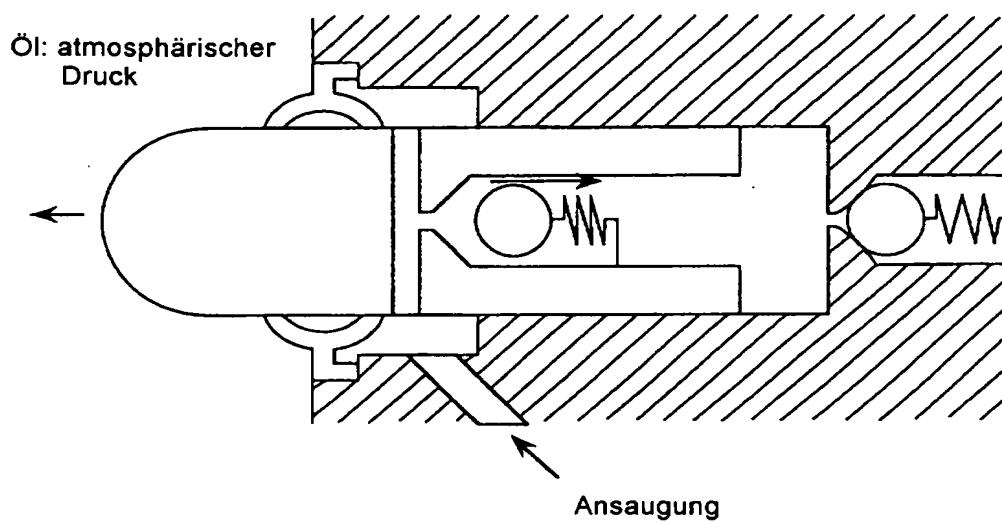


FIG. 2



**FIG. 3**

(a) Ansaughub



(b) Förderhub

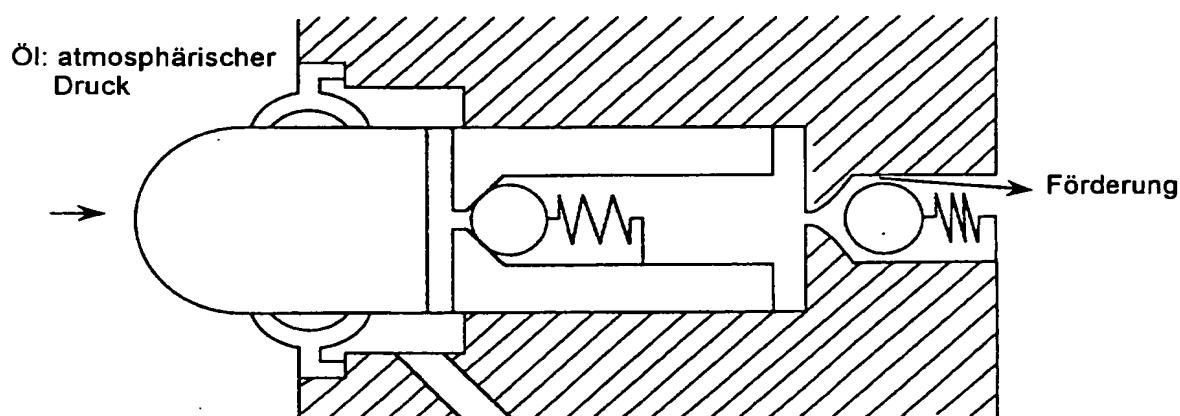


FIG. 4

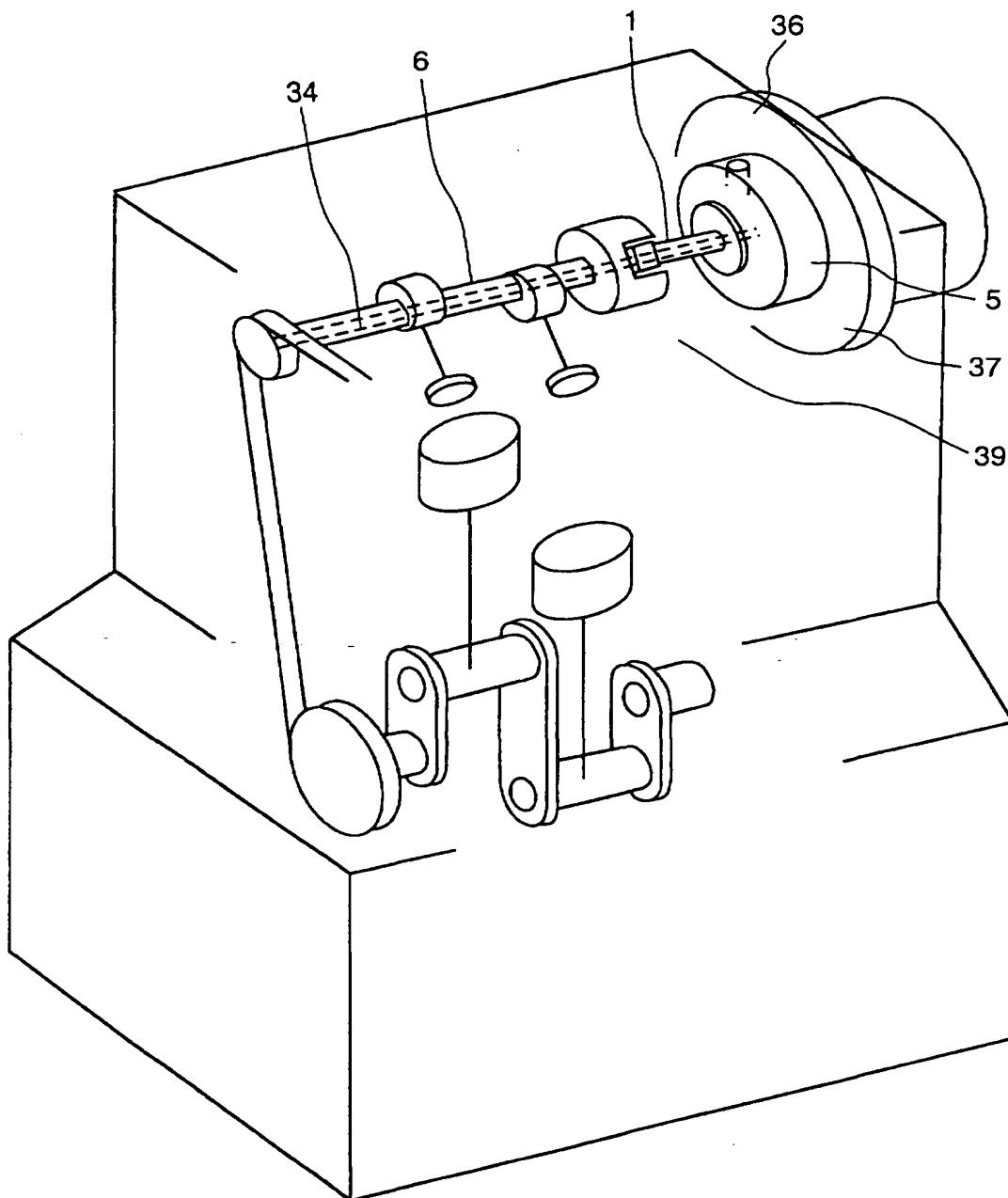


FIG. 5

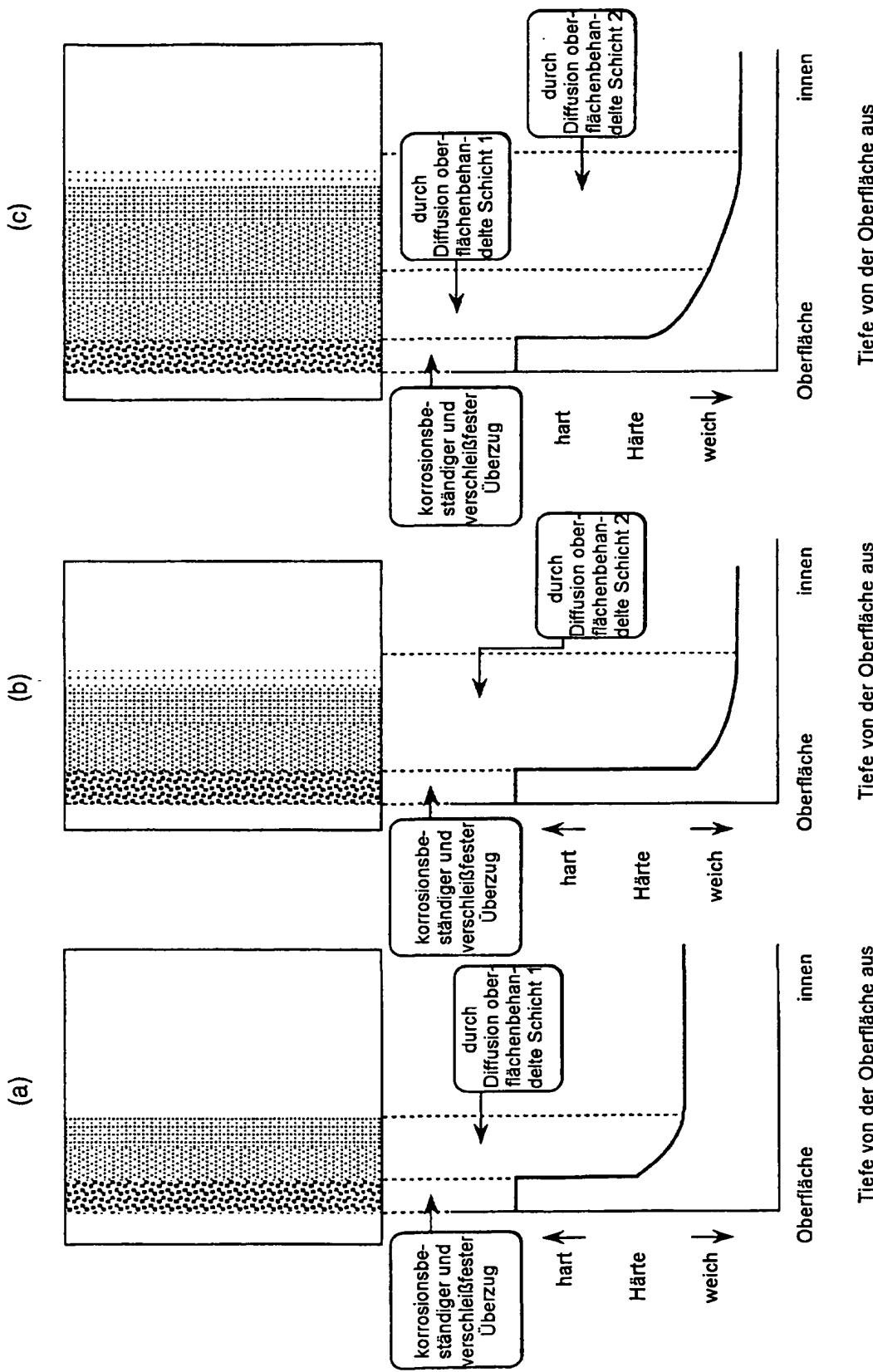


FIG. 6

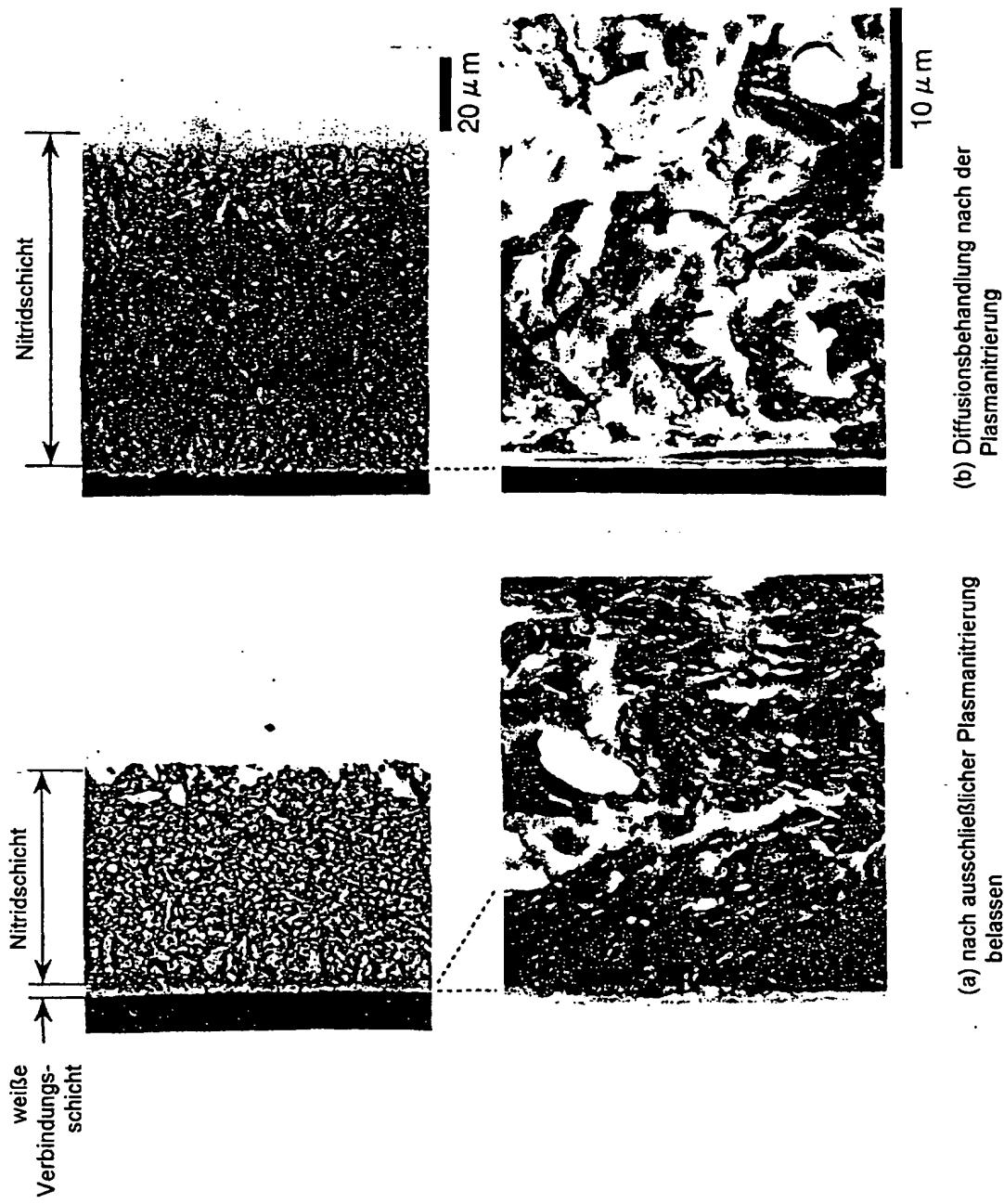


FIG. 7

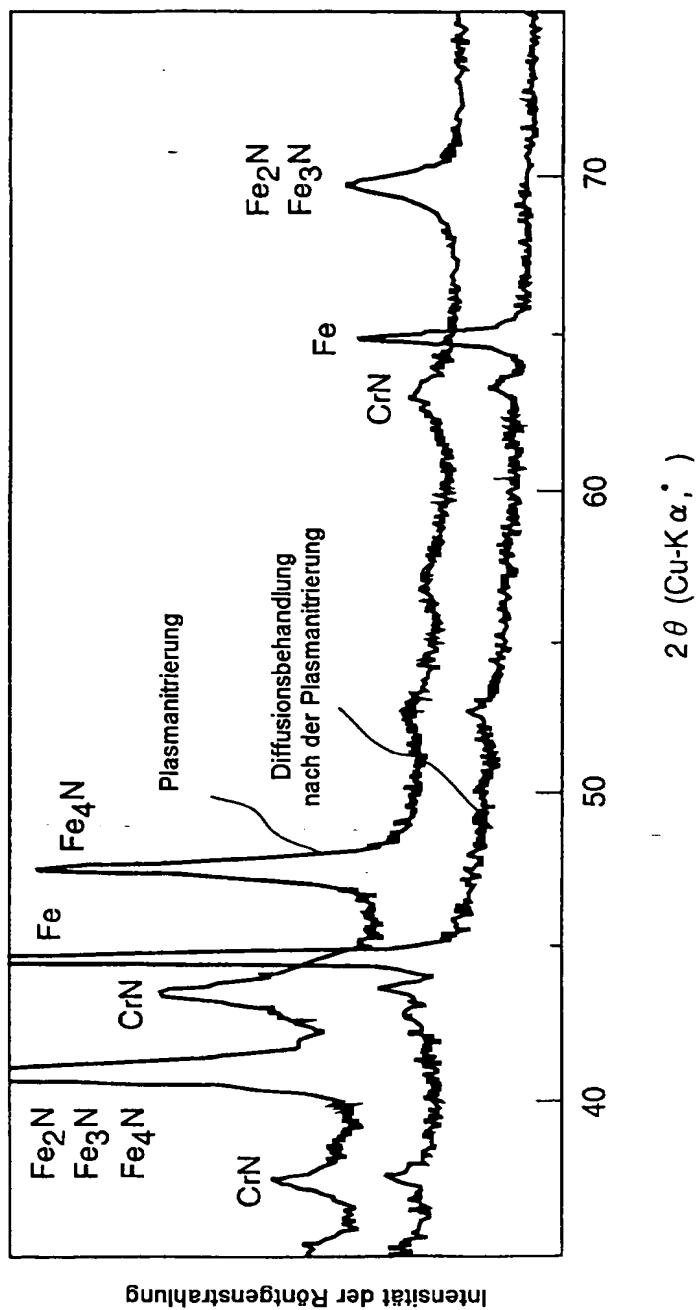
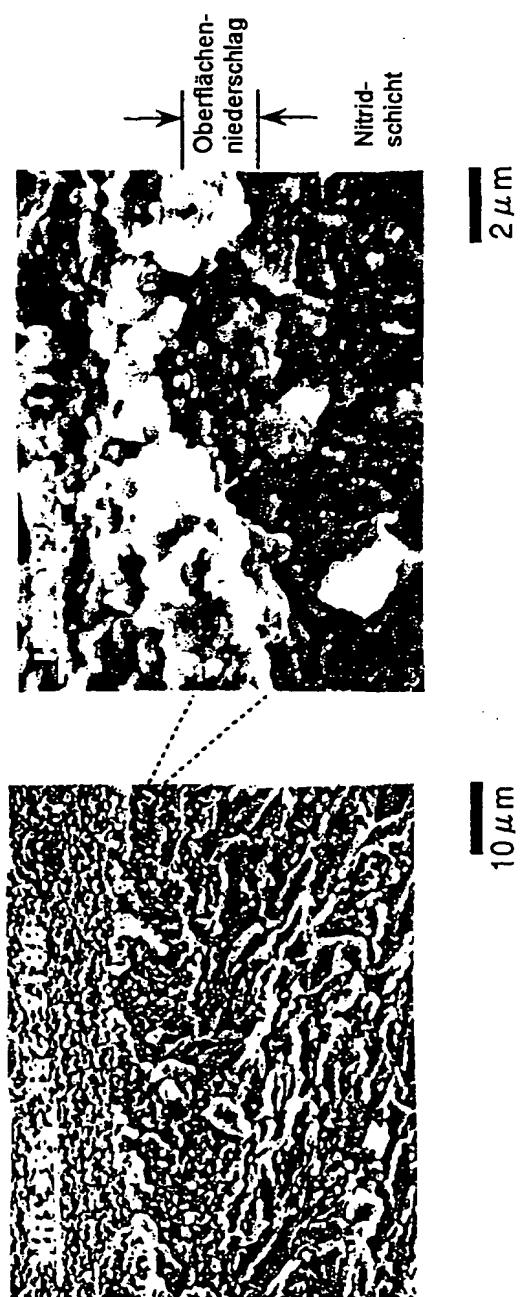
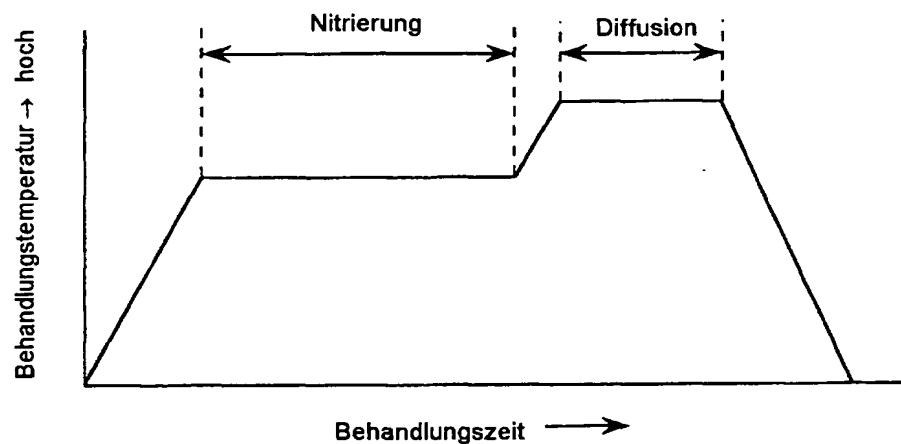


FIG. 8



## FIG. 9

(a) Prozeß



(b) Prozeß

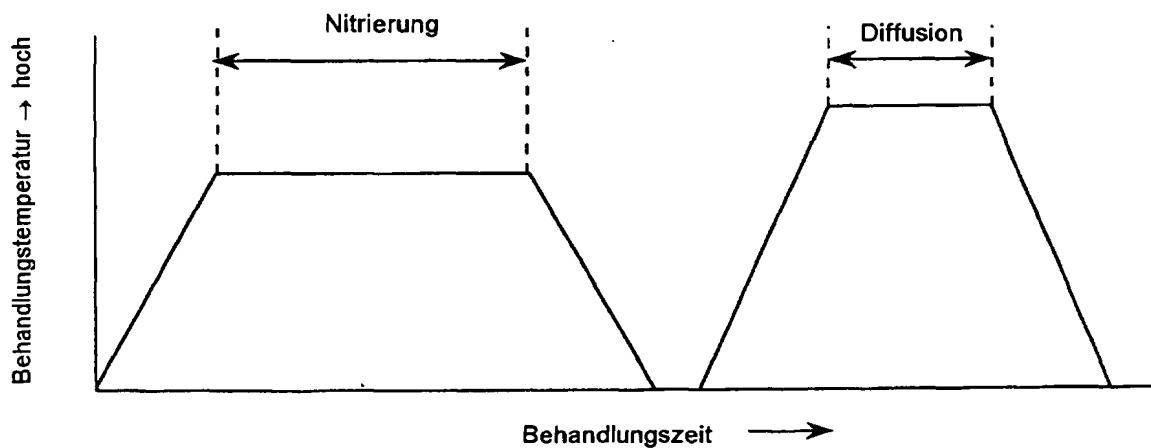


FIG. 10

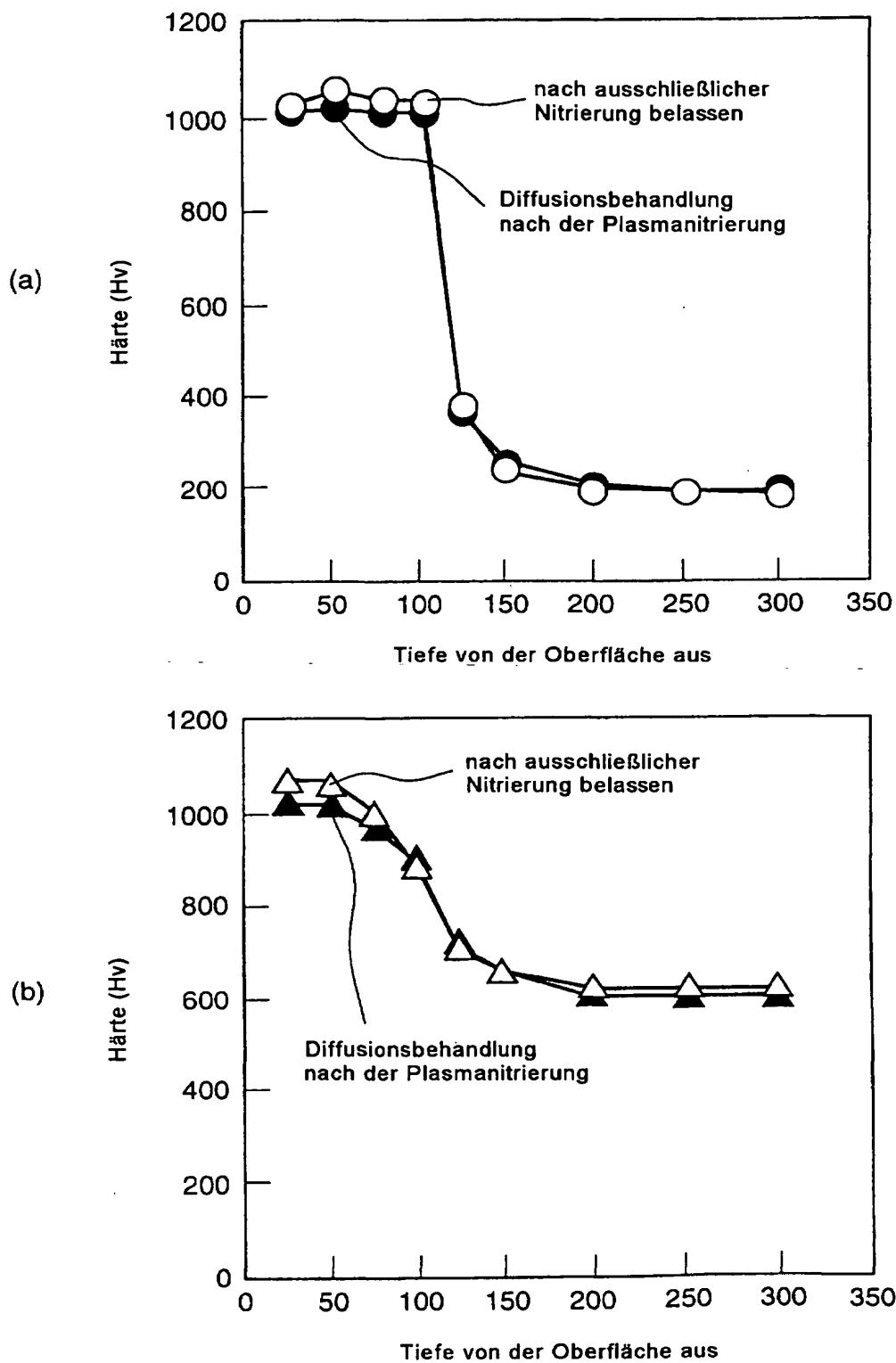


FIG. 11

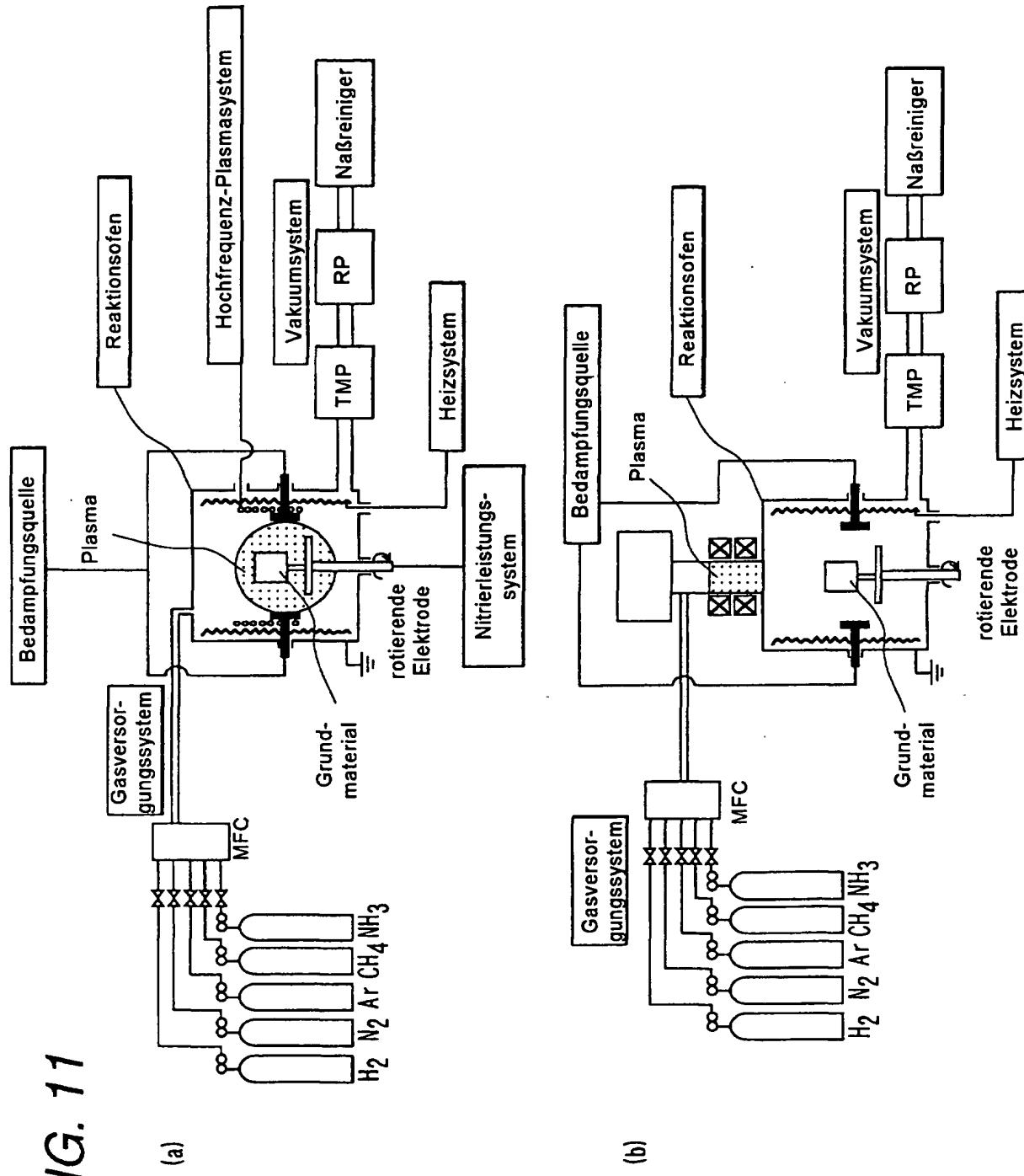
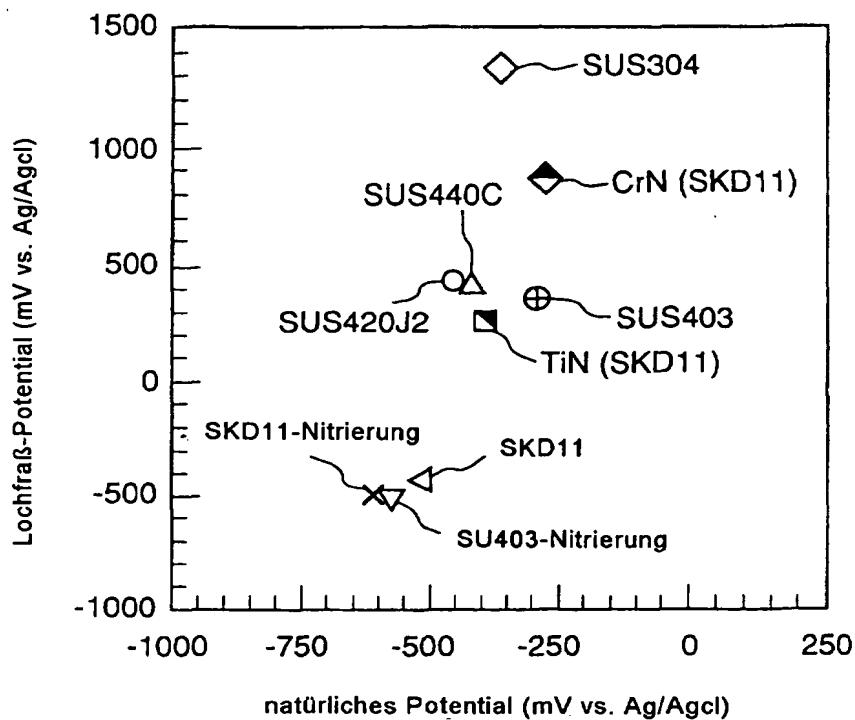


FIG. 12



Prüfpotential: 70 °C

Prüflösung: E13,5 Vol.-% + Basis-Säurekonzentration + H<sub>2</sub>O

Basis-Säurekonzentration ... Chlor-Ionen: 5ppm  
Schwefelsäure-Ionen: 6ppm  
Salpetersäure-Ionen: 6ppm  
Essigsäure-Ionen: 61ppm  
Ameisensäure-Ionen: 46ppm

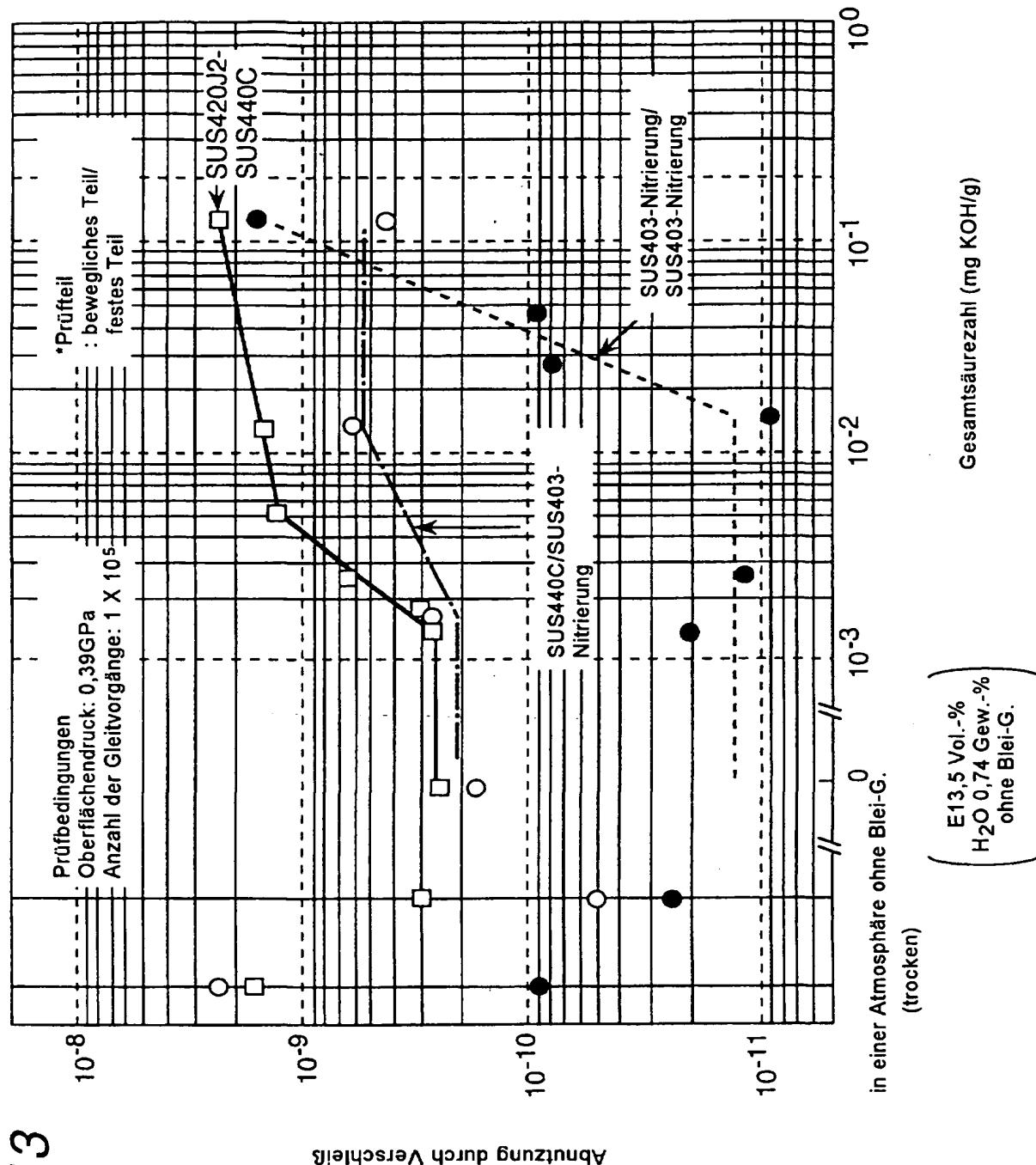
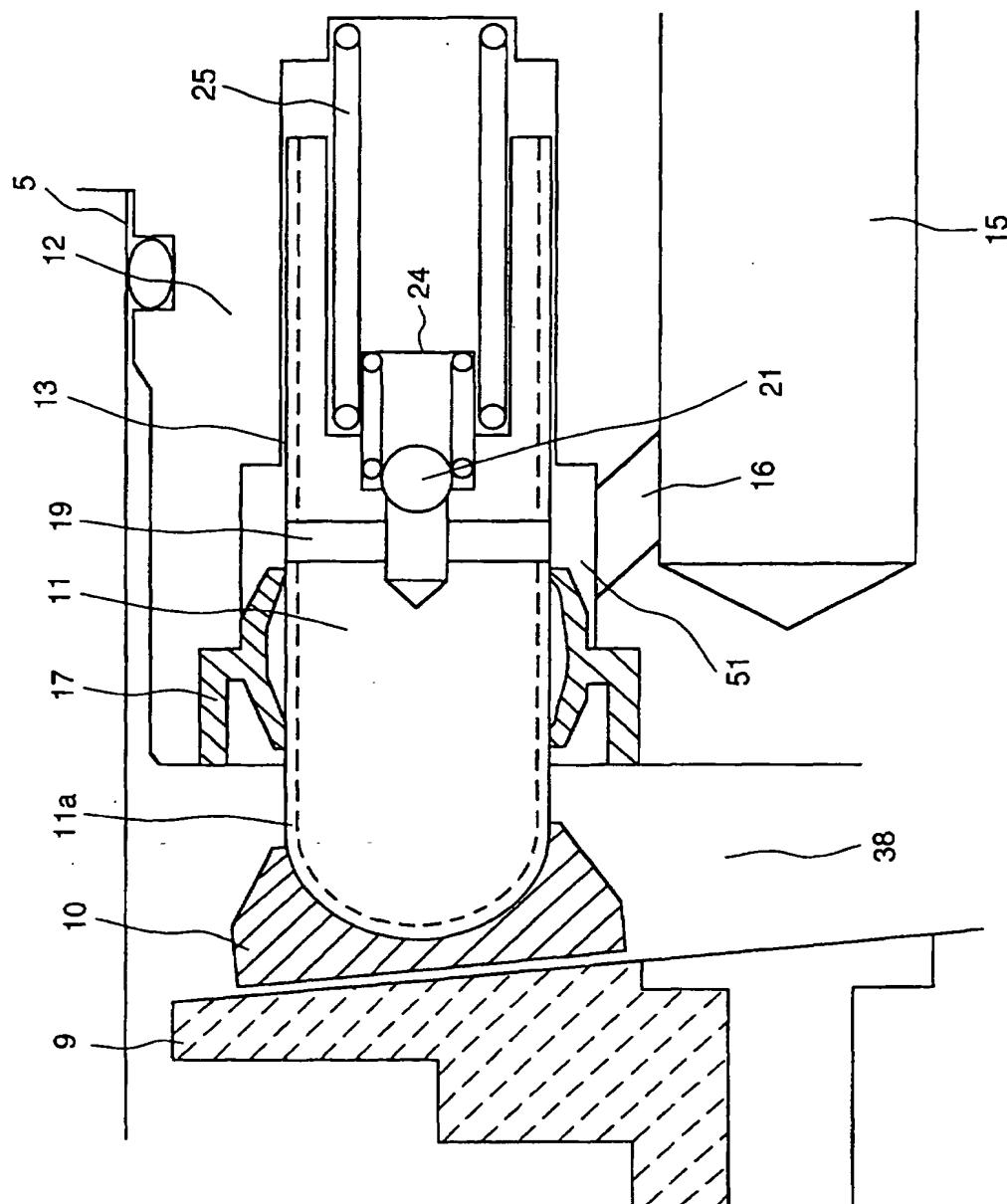


FIG. 14



## FIG. 15

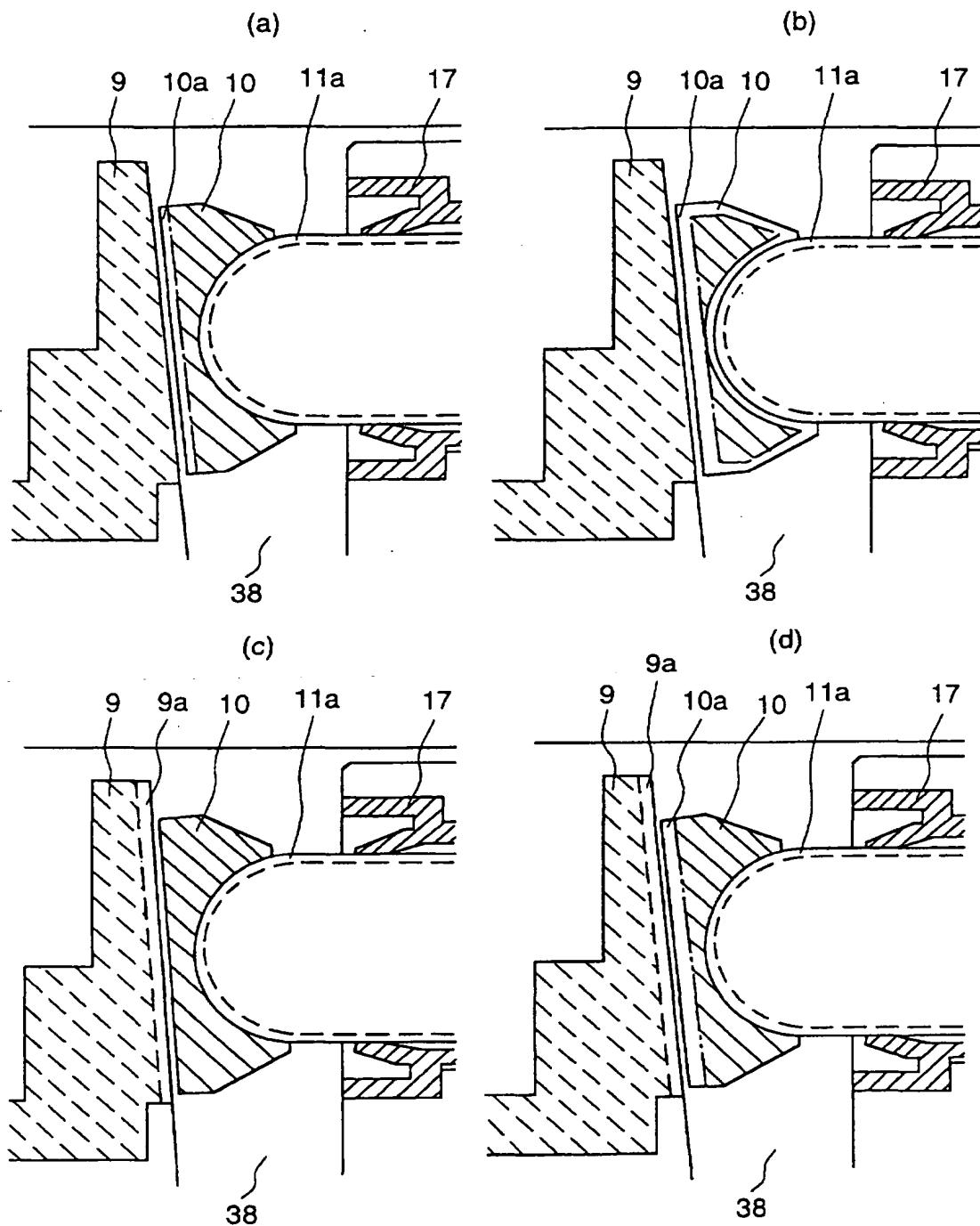


FIG. 16

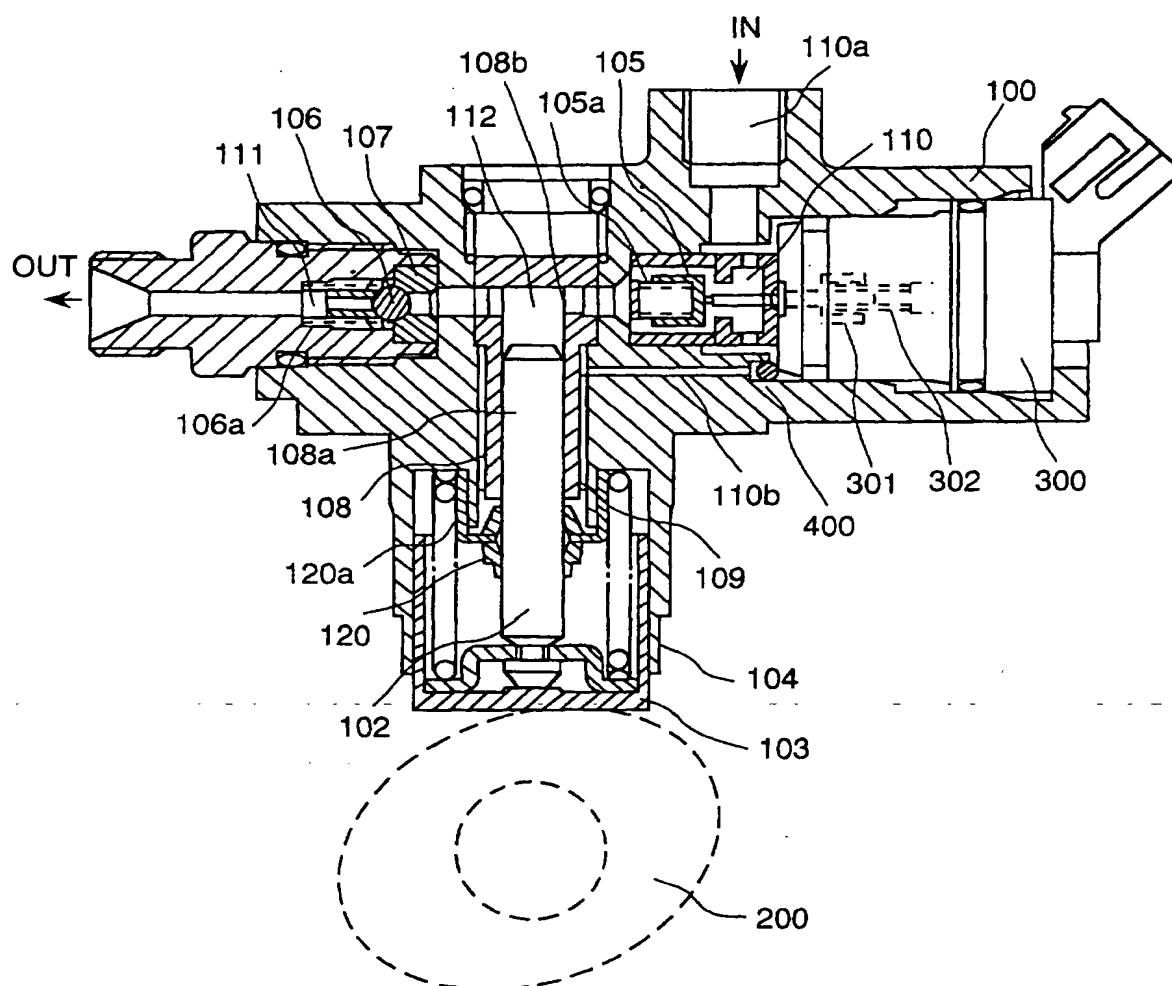


FIG. 17

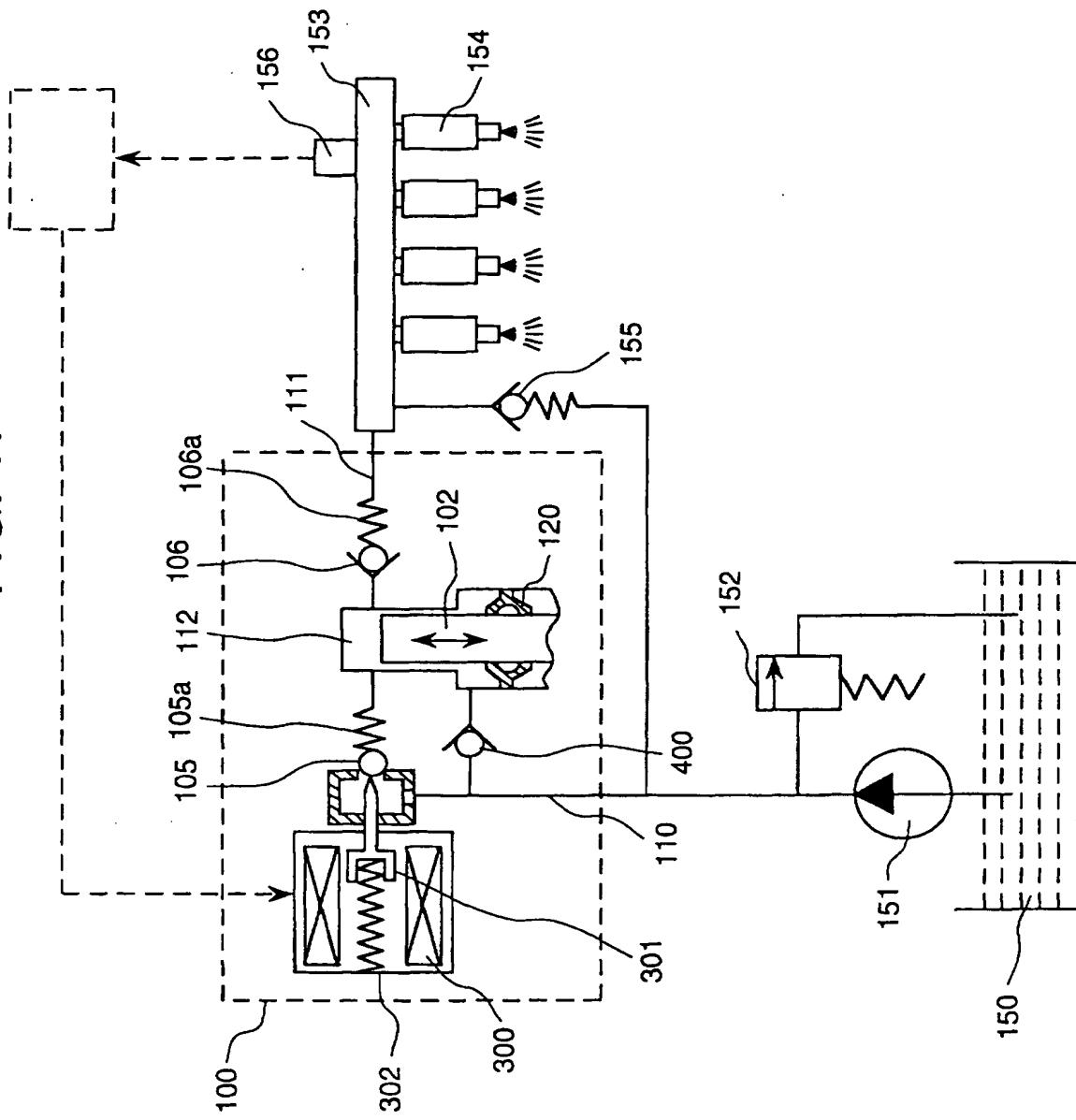
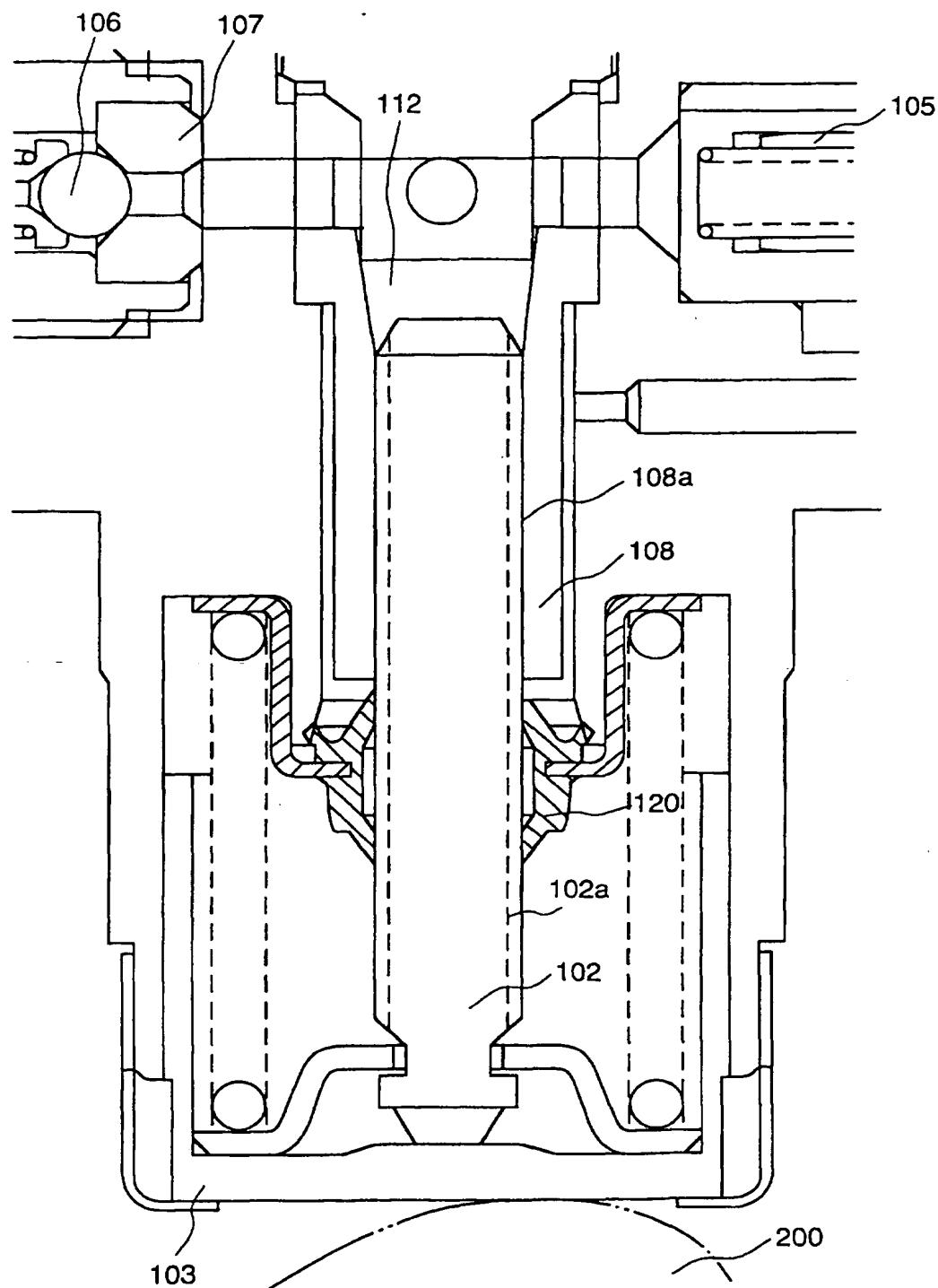


FIG. 18



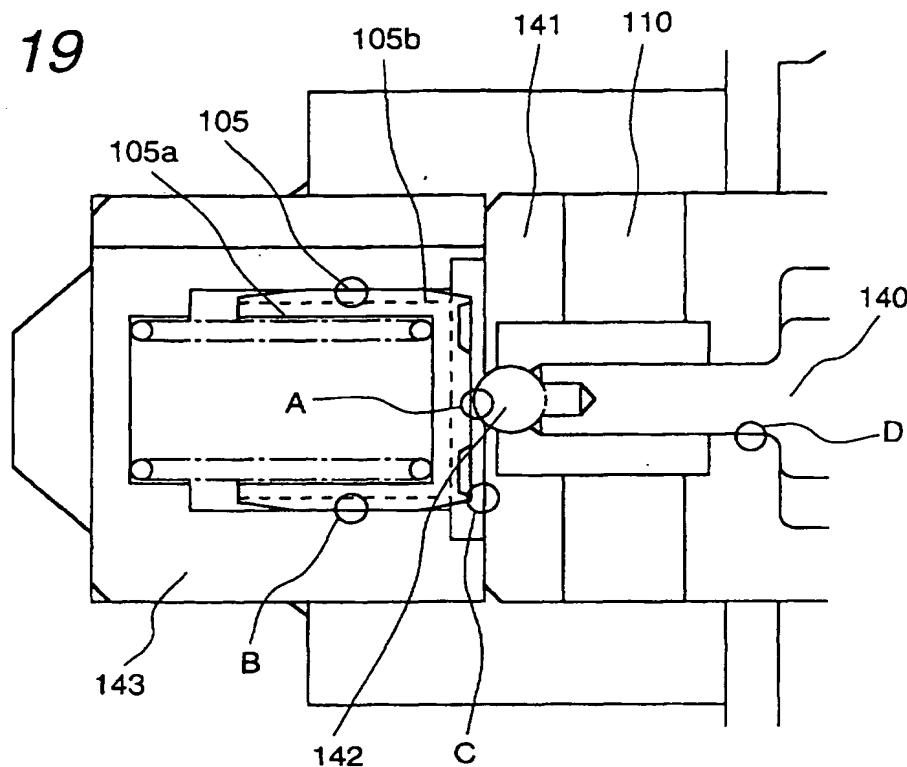
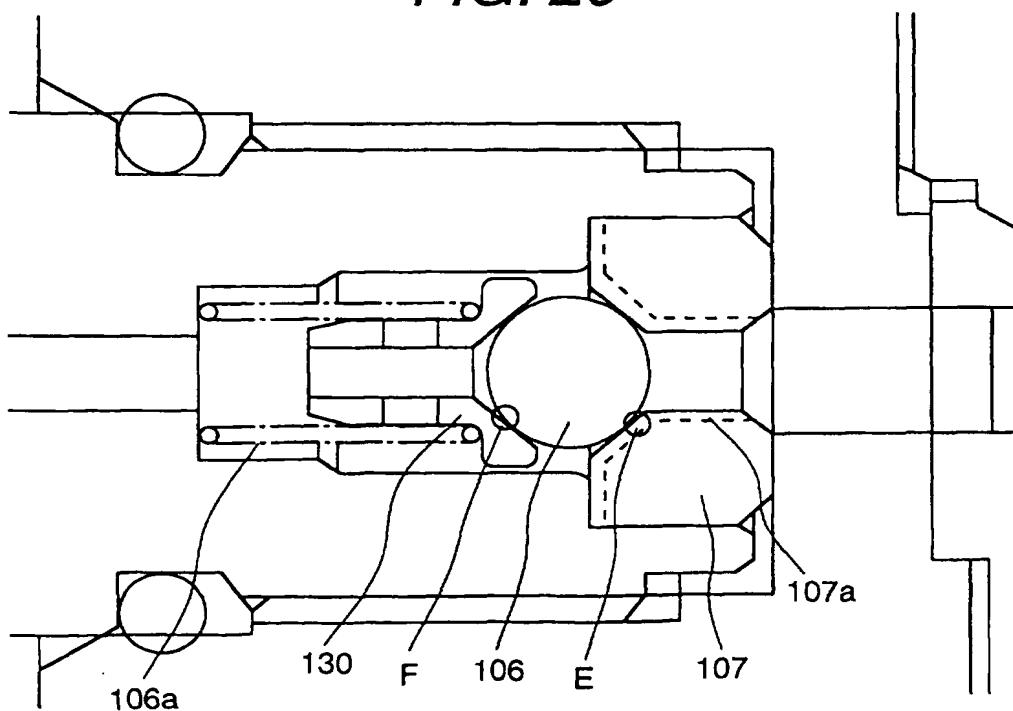
**FIG. 19****FIG. 20**

FIG. 21

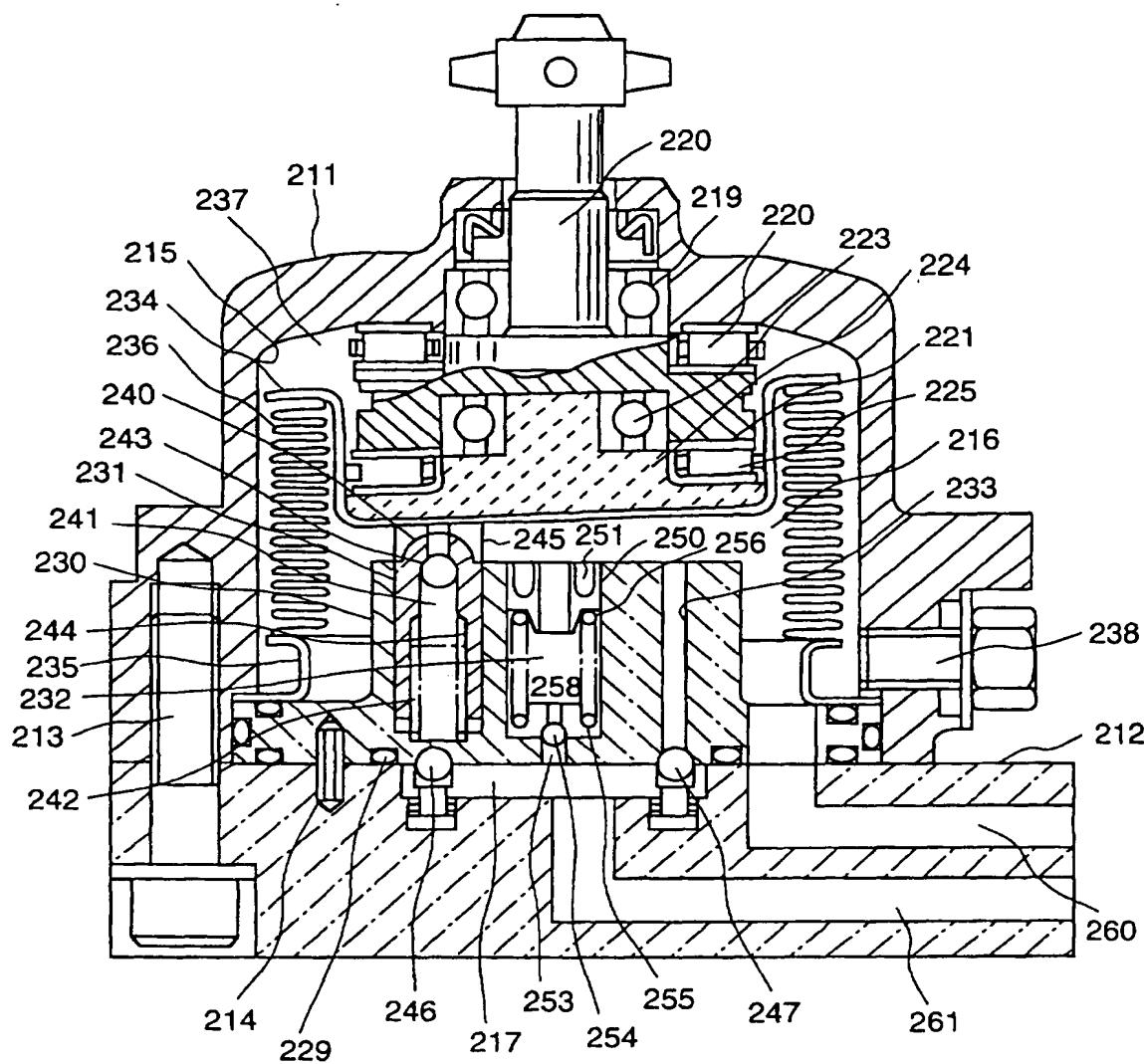
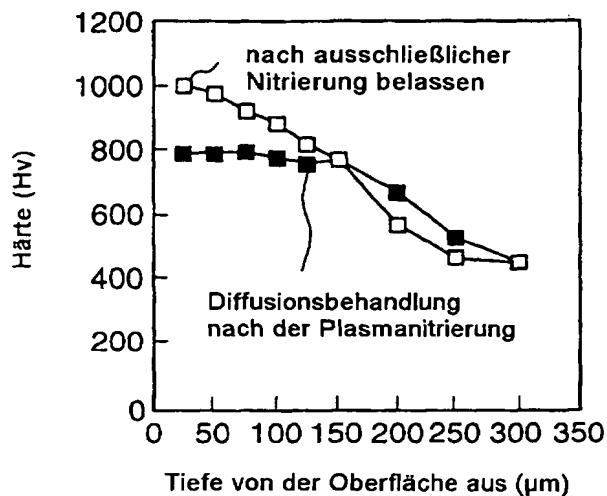
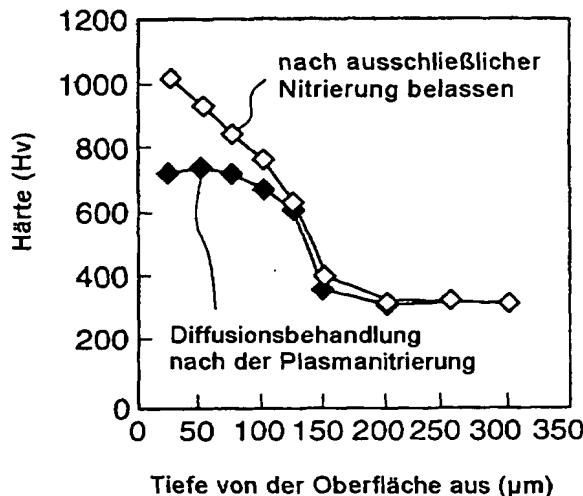


FIG. 22

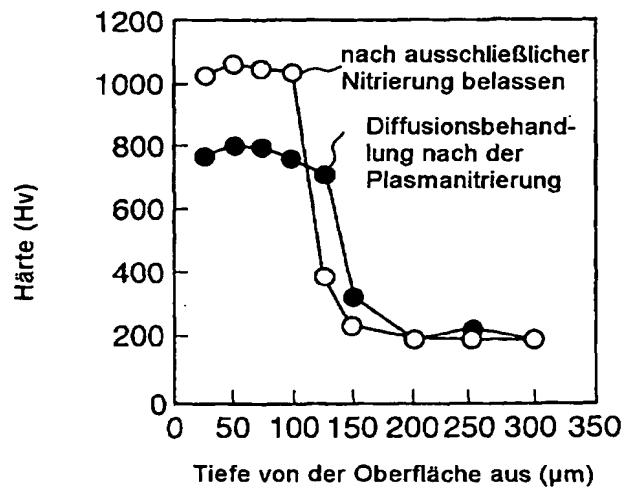


a) SKD61



Tiefe von der Oberfläche aus (μm)

b) SUS420J2



c) SUS403

FIG. 23

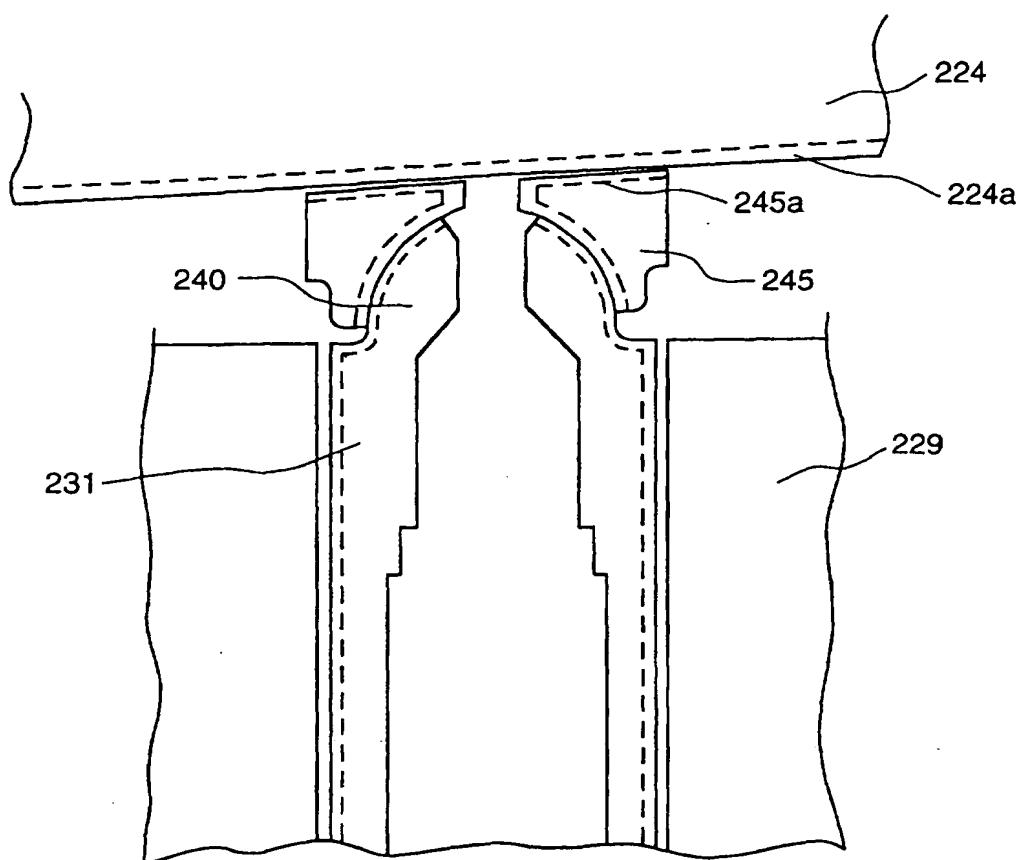
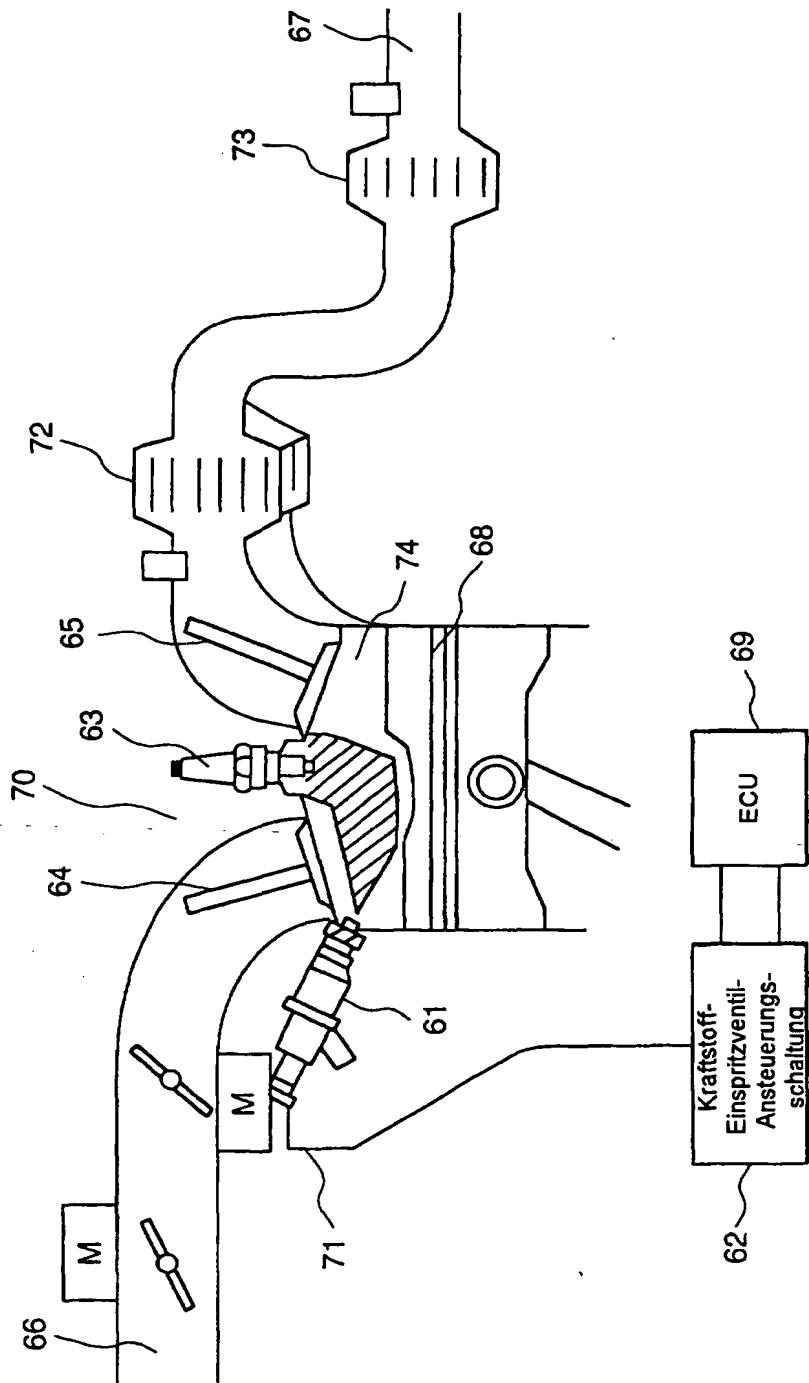


FIG. 24



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**